

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO CUBATÃO
DO SUL COM MODELO SWAT**

Djesser Zechner Sergio

Orientador
Prof. Dr. Davide Franco

Co-Orientador
Dr. Eng. Luis H. P. Garbossa

2012/2

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental
Trabalho de Conclusão de Curso

MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO CUBATÃO DO
SUL COM MODELO SWAT

Djesser Zechner Sergio

Orientador
Prof. Dr. Davide Franco
UFSC

Co-Orientador
Dr. Eng. Luis H. P. Garbossa
EPAGRI/CIRAM

2012/2


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

Modelagem Hidrológica da Bacia do Rio Cubatão do Sul com uso do
modelo SWAT

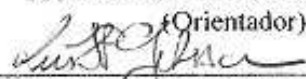
DJESSER ZECHNER SERGIO

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental

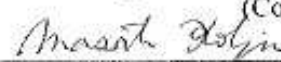
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Davide Franco
(Orientador)



Eng. Dr. Luis H. P. Garbossa
(Co-Orientador)



Prof. Dr. Masato Kobiyama



Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe

FLORIANÓPOLIS, SC
FEVEREIRO/2013

“Os homens perdem a saúde para juntar dinheiro, depois perdem o dinheiro para recuperar a saúde. E por pensarem ansiosamente no futuro esquecem-se do presente, de forma que acabam por não viver nem no presente nem no futuro. Vivem como se nunca fossem morrer, e morrem como se nunca tivessem vivido.”

14º Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as experiências vividas, os lugares visitados, as alegrias compartilhadas, a vida de cada dia;

Aos meus pais, pela história de vida, pelo exemplo que são, pela garra e dedicação, pela educação que recebi, por todos esses anos; por aquilo que sou;

À minha irmã e sua família, pelo afeto e carinho;

Aos demais familiares por todo apoio;

Aos meus amigos, por todas aventuras vividas e por aquelas que logo se iniciarão;

Aos amigos da Engenharia Sanitária e Ambiental que convivi intensamente nesses últimos anos;

Aos amigos do time de Futsal da UFSC, nas tantas viagens e competições, pelo simples e puro prazer da prática do esporte coletivo;

Aos meus orientadores Dr. Eng. Luis H. P. Garbossa e Prof. Dr. Davide Franco, pela compreensão e contribuição na execução deste trabalho;

Aos membros da Banca pelas devidas contribuições;

Aos amigos do LAHIMAR, GESAD, LABHIDRO e NEA com os quais compartilhei grandes experiências e aprendi muito;

À EPAGRI/CIRAM pelo fornecimento dos dados necessários à execução deste trabalho.

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul BHRCS é responsável por mais de 85% do abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Florianópolis. O presente trabalho teve por objetivo estimar o balanço hídrico da BHRCS com uso do modelo SWAT, frente à características previamente levantadas de uso e ocupação, características de solos e dados meteorológicos no entorno e inseridas na BHRCS. O modelo não calibrado apresentou resultados satisfatórios na comparação entre os valores de vazão observados pela Estação Fluviométrica ETA CASAN Montante e as médias mensais modelados, com R^2 0,75 e NSE 0,78. Para o balanço hídrico, o modelo estimou uma precipitação anual de 1872,8 mm, sendo 47,2% convertidos em evapotranspiração e 50,6% em escoamento total.

Palavras-Chave: Balanço Hídrico, SWAT, Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul.

ABSTRACT

The Cubatao Sul River Watershed - BHRCS supplies more than 85% of the Great Florianópolis Region water's need. The objective of the present study was to evaluate the BHRCS water balance using SWAT model, using land use and soil database previously set as well weather data around and inside the watershed. The model was not calibrated. The modeled discharge was compared with the ETA CASAN Montante observed discharge data. For monthly averages, the R^2 and NASH were 0.75 and 0.78 respectively. The annual precipitation calculated for the watershed was 1872.8 mm where 47.2 % was estimated to be converted into evapotranspiration and 50.6% into total runoff.

Keywords: Water Balance, SWAT, Cubatao Sul River Watershed.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Elementos da Modelagem.	34
Tabela 4.2 – Classificação de Modelos Matemáticos.	35
Tabela 4.3 – Principais alterações no modelo SWAT	39
Tabela 5.1 – Classes de uso e ocupação da BHRCS.	50
Tabela 5.2 – Classes de solos da BHRCS.	53
Tabela 5.3 – População da BHRCS.....	56
Tabela 5.4 – Densidade Populacional e População Urbana.	58
Tabela 5.5 – Sistema de Captação de Água da Região Metropolitana geridos pela CASAN.....	59
Tabela 6.1 – <i>CN</i> e <i>n</i> para diferentes usos de solo.....	63
Tabela 6.2 – Grupo Hidrológicos de Solos. (NRCS, 2007).	64
Tabela 6.3 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Balanço Hídrico e Escoamento Superficial.....	66
Tabela 6.4 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Escoamento Superficial.	67
Tabela 6.5 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Evapotranspiração, Infiltração e Água no Solo.....	68
Tabela 6.6 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Água no Solo.	69
Tabela 6.7 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Água no Solo e Águas Subterrâneas.	70
Tabela 6.8 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Água no Solo e Águas Subterrâneas.	71
Tabela 6.9 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Modelo EPIC Simplificado e MUSLE.....	72
Tabela 6.10 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. MUSLE 2..	73
Tabela 6.11 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. MUSLE 3..	74
Tabela 6.12 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. MUSLE 4..	75
Tabela 6.13 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. MUSLE e Nutrientes.	76
Tabela 6.14 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Nutrientes..	77
Tabela 6.15 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Fase de Canal.	78

Tabela 6.16 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Fase de Canal.	79
Tabela 6.17 – Localização das estações inseridas e no entorno da BHRCS.	82
Tabela 6.18 – Dados Metereológicos EPAGRI/CIRAM- Florianópolis.	82
Tabela 6.19 – Dados Metereológicos EPAGRI/CIRAM São José.	83
Tabela 6.20 – Dados metereológicos mensais (<i>Weather Generator</i>).	83
Tabela 6.21 – Tabela de desagregação da Chuva de 24 horas.	86
Tabela 6.22 – Associação entre Uso e Ocupação do Solo e Banco de dados SWAT.	87
Tabela 6.23 – Parâmetros de entrada de solos.	88
Tabela 6.24 – Carta de Munsell e Albedo.	90
Tabela 7.1 – Dados Metereológicos Mensais - EPAGRI Florianópolis (<i>Weather Generator</i>)	95
Tabela 7.2 – Dados Metereológicos Mensais - EPAGRI São José (<i>Weather Generator</i>)	96
Tabela 7.3 – Resultados dos métodos estatísticos sobre os dados de vazão modelados não calibrados da sub-bacia 6 e dados observados da Estação ETA CASAN Montante.	102
Tabela 7.4 – Vazão modeladas e observadas para média diárias, mensais e anuais.	105
 Tabela A. 1 – Dados Físicos de Solos da BHRCS.	 115
 Tabela B. 1 – Precipitação Máxima de 24 h Estimada – Estação Metereológica EPAGRI São José (2002 – 2011).	 117
Tabela B. 2 – Tabela de Desagregação – Precipitação (mm) – Tempo de Retorno 10 anos.(EPAGRI São José 2002 – 2011).	118
Tabela B. 3 – Precipitação Máxima de 24 h estimada (EPAGRI Florianópolis 2000 – 2011)	119
Tabela B. 4 – Tabela de Desagregação – Precipitação (mm) – Tempo de Retorno 10 anos (EPAGRI Florianópolis 2000 – 2011).	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1 – Bacias Hidrográficas Brasileiras e localização da BHRCS.	46
Figura 5.2 – Perfil Altimétrico e Declividades Médias do Rio Cubatão do Sul.	48
Figura 5.3 – Modelo Numérico do Terreno da BHRC	49
Figura 5.4 – Vegetação da BHRCS e Parque Estadual da Serra do Tabuleiro.	51
Figura 5.5 – Uso e Ocupação da BHRCS	52
Figura 5.6 – Mapa de classificação de solo da BHRCS.	55
Figura 5.7 – Mapa de densidade populacional.	57
Figura 6.1 – Fluxograma do Presente Trabalho.	62
Figura 6.2 – Estações Metereológicas, Pluviométricas e Fluviométricas.	81
Figura 7.1 – Médias das Precipitações Acumuladas Mensais (2000-2011).	91
Figura 7.2 – Máximas Precipitações Acumuladas Mensais (2000-2011).	91
Figura 7.3 – Mínimas Precipitações Acumuladas Mensais (2000-2011).	92
Figura 7.4 – Máxima Precipitação de 30 minutos no mês.	93
Figura 7.5 – Temperaturas Máximas e Mínimas Diárias Médias.	93
Figura 7.6 – Radiação Solar Média Diária.	94
Figura 7.7 – Classes de declividades atribuídas à BHRCS	98
Figura 7.8 – Sub-bacias e exutórios modelados.	99
Figura 7.9 – Balanço Hídrico Anual da BHRCS.	100
Figura 7.10 – Séries mensais de vazões diárias modeladas e observadas (2000 – 2009).	103
Figura 7.11 – Séries anuais de vazões diárias modeladas e observadas (2000 – 2009).	104

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Sigla	Nome
AGNPS	Agricultural Non-Point Source Pollution Model
ANA	Agência Nacional de Águas
ANSWER	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)
ArcGIS	Software para processamento e armazenamento de Informações Georreferenciadas.
BHRCS	Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul
CASAN	Companhia Catarinense de Água e Saneamento
CREAMS	Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems
DAEE-CETESB	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EPAGRI/CIRAM	Centro de Informação e Agrometeorologia da EPAGRI
EPIC	Erosion Productivity Management Systems
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
FATMA	Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina
GLEAMS	Groundwater Loadings Effects on Agricultural Management Systems
HRU	Unidade de Resposta Unitária
HYCYMODEL	Hydrological Cycle Model
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MUSLE	Equação Universal de Perda de Solo Modificada
<i>NRCS</i>	<i>US Natural Resources Conservation Service</i>
NSE	Nash and Sutcliffe Efficiency Coefficient ou Coeficiente de Eficiência
QUAL2E	Modelo de modelagem da qualidade da água em rios
RMGF	Região Metropolitana da Grande Florianópolis
ROTO	Routing Outputs to Outlet
SBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Embrapa

SCS	<i>US Soil Conservation Service</i>
SDR	Taxa de Transferência de Sedimentos
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SWAT	Soil and Water Assesment Tool
SWMM	Storm Water Management Model
SWRRB	Simulator for Water Resources in Rural Basin
TIN	Triangular Irregular Network
USDA	<i>US Agricultural Department</i>
USEPA	US Environmental Protect Agency
USERWGN	Tabela de Entrada de Dados Estatístico Metereológicos do SWAT
USLE	Equação Universal de Perda de Solo
WEPP	Water Erosion Predict Project
WGNMaker	Software Estatístico para cálculo de médias mensais de dados metereológicos necessários para o banco de dados do SWAT

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
ANION_EXCL	Microporosidade	fração
AR	Classe de Solo Afloramento Rochoso	
CH	Classe de Solo Cambissolo Húmico	
CN2A	Coeficiente de Deflúvio ou <i>Curve Number</i> para condição antecedente II e Grupo Hidrológico A	
CN2B	Coeficiente de Deflúvio ou <i>Curve Number</i> para condição antecedente II e Grupo Hidrológico B	
CN2C	Coeficiente de Deflúvio ou <i>Curve Number</i> para condição antecedente II e Grupo Hidrológico C	
CN2D	Coeficiente de Deflúvio ou <i>Curve Number</i> para condição antecedente II e Grupo Hidrológico D	
CX	Classe de Solo Cambissolo Háplico	
DEWPT	Ponto de Orvalho médio diário	°C
DEWPT	Ponto de orvalho médio diário no mês	°C
ESCO	Fator de compensação de evaporação do solo	
GX	Classe de Solo Gleissolo Háplico	
HYDGRP	Grupo Hidrológico A, B, C ou D	
K	Condutividade Hidráulica Saturada	mm.h ⁻¹
NLAYERS	Número de camadas	
NSE	Nash and Sutcliffe Efficiency Coefficient	
OV_N	Coeficiente de Manning (<i>n</i>)	
P30 min	Precipitação máxima de 30 minutos esperada	mm
P1 h	Precipitação máxima de 1 hora esperada	mm
P6 h	Precipitação máxima de 6 horas esperada	mm
P8 h	Precipitação máxima de 8 horas esperada	mm
P10 h	Precipitação máxima de 10 horas esperada	mm
P12 h	Precipitação máxima de 12 horas	mm

esperada

PCPD	Número médio de dias chuvosos no mês	dias
PCPMM	Média da precipitação no mês	mm
PCPSKW	Coefficiente Skew para a precipitação diária no mês	
PCPSTD	Desvio padrão da precipitação no mês	mm.dia ⁻¹
PR_W(1)	Probabilidade de dia úmido (com chuva) seguido de um dia seco no mês	
PR_W(2)	Probabilidade de um dia úmido seguido de outro dia úmido no mês	
PVA	C asse de Solo Argissolo Vermelho Amarelo	
$\overline{Q_o}$	Vazão média observada	m ³ .s ⁻¹
$\overline{Q_m}$	Vazão média modelada	m ³ .s ⁻¹
Q_o^t	Vazão observada no tempo t	m ³ .s ⁻¹
Q_m^t	Vazão modelada no tempo t	m ³ .s ⁻¹
$Q_{7,10}$	Vazão média de estiagem de 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno	m ³ .s ⁻¹
Q_{90}	Vazão com 90% de permanência	m ³ .s ⁻¹
r	Coefficiente de Correlação de Pearson	
R ²	Coefficiente de Determinação	
RAIN_YRS	Número de anos dos dados meteorológicos observados que foram utilizados para calcular o RAIN_HHMAX	anos
RAINHHMAX	Precipitação máxima de 30 minutos no mês	mm
RAINHHMX	Precipitação máxima de 30 minutos no mês	mm
RL	Classe de Solo Neossolo Litólico	
RMSE	Variância ou <i>Root Mean Square Error</i>	
RSR	<i>RMSE-observations standard deviation ratio</i>	
SNAM	Nome do Solo	

SOL_SAND	Areia	%
SOL_ALB	Albedo	
SOL_AWC	Água Disponível	mm.mm ⁻¹
SOL_CBN	Carbono Orgânico	%
SOL_CLAY	Argila	%
SOL_CRK	Maximum Crack Volume	fração
SOL_DB	Densidade da Camada	g.cm ⁻³
SOL_K	Condutividade Hidráulica Saturada	mm.h ⁻¹
SOL_ROCK	Fragmentos de Rocha	%
SOL_SILT	Silte	%
SOL_Z	Profundidade da superfície do solo ao fim da camada	m
SOL_ZMX	Profundidade do Solo	m
SOLARAV	Radiação solar média diária no mês	MJ.m ⁻² .dia ⁻¹
<i>STDEV_{obs}</i>	<i>Standard Deviation</i> ou Desvio Padrão dados observados	
TMPMN	Temperatura mínima nos diferentes meses do ano	°C
TMPMX	Temperatura máxima nos diferentes meses do ano	°C
TMPSTDMN	Desvio padrão da mínima temperatura no mês.	
TMPSTDMX	Desvio padrão da máxima temperatura no mês.	
USLE K	Fator de Erodibilidade de Solo USLE	
WELEV	Altitude da estação meteorológica	m
WLATITUDE	Latitude da estação meteorológica (graus)	graus
WLONGITUDE	Longitude da estação meteorológica	graus
WNAV	Velocidade do vento médio diário no mês	m.s ⁻¹

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
2	JUSTIFICATIVA	29
3	OBJETIVOS.....	31
3.1	Objetivo Geral	31
3.2	Objetivos Específicos	31
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
4.1	Processos Hidrológicos.....	33
4.2	Modelos Matemáticos.....	34
4.3	Desenvolvimento de Modelos Hidrológicos.....	36
4.4	SWAT (Soil and Water Assessment Tool)	38
4.5	Métodos de Avaliação de Modelos Hidrológicos	41
5	ÁREA DE ESTUDO	45
5.1	Hidrografia e Relevo.....	45
5.2	Cobertura Vegetal, Uso e Ocupação e Unidade de Conservação.....	47
5.3	Solos	53
5.4	População.....	56
5.5	Usos da água para abastecimento na BHRCS.....	58
6	MATERIAIS E MÉTODOS	60
6.1	Software.....	60
6.2	Descrição do Modelo SWAT.....	61
6.2.1	Metodologia de Cálculo.....	63
6.2.2	Evapotranspiração.....	64
6.3	Dados de Entrada.....	80
6.3.1	Dados Hidrológicos e Metereológicos.....	80
6.3.2	Banco de Dados Espaciais	87
7	RESULTADOS	91
7.1	Caracterização hidrológica	91
7.2	Aplicação do modelo	97
7.3	Resultados da modelagem hidrológica	97
8	CONCLUSÕES.....	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	APÊNDICE A – DADOS FÍSICOS DE SOLOS DA BHRCS.....	115

APÊNDICE B – CALCULO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DE 30 MINUTOS	117
--	------------

1 INTRODUÇÃO

A sociedade desde o princípio acostumou-se a desfrutar o que o ambiente produz e oferece. De alimentos à biotecnologia, de água potável ao lazer e turismo. No entanto, os níveis de desenvolvimento econômico praticados no mundo inteiro promovem a utilização acelerada dos recursos naturais, de modo que o conceito de recurso renovável torna-se confuso. Exemplos claros desta situação são a desertificação de ecossistemas, perda de fertilidade de solos, redução da disponibilidade hídrica, supressão de mata nativa por reflorestamento de monoculturas, extinção de espécies, problemas de ordem social e de saúde pública. A escassez resultante de um sistema de recursos finitos força a sociedade a buscar saídas para controlar e explorar de forma sustentável os bens e serviços naturais, a fim de garantir que estes continuem à disposição das gerações futuras.

No que se refere à manutenção da disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade suficiente, a situação atual dos recursos hídricos exige que haja uma gestão adequada que permita maior controle sobre sua produção, conservação e uso. É necessário também sensibilizar a sociedade quanto à importância ecológica, social e econômica da água. Setores da sociedade civil, público e privada estão desenvolvendo mecanismos de conservação e incentivo à produção de bens ambientais ou ecossistêmicos. Trata-se de mecanismos que remuneram ou recompensam quem protege os serviços da natureza. São os chamados Serviços Ambientais (SAFATLE, 2006).

Os Serviços Ambientais dividem-se em quatro grandes categorias: belezas cênicas, sequestro de carbono, conservação da biodiversidade e proteção de bacias hidrográficas (WUNDER, 2007 *apud* BERNARDES & SOUSA JÚNIOR, 2010). O estabelecimento de um valor econômico para um bem natural comum, como é o caso da água, pode gerar conflitos de interesse. Faz-se necessário a aplicação de metodologias que sejam adequadas para mensurar o ganho ambiental, de modo a ser um incentivo a práticas conservacionistas. (SAFATLE, 2006).

A análise global da melhoria ambiental na bacia hidrográfica é complexa e trabalhosa. A aplicação de modelos matemáticos hidrológicos de base física, aliados a Sistemas de Informação Geográfica – SIGs que permitam estimar a produção hídrica, de sedimentos e qualidade da água são uma opção adequada. Agilidade de resposta, criação e avaliação de cenários de alteração do uso e ocupação da bacia são benefícios desta aplicação.

2 JUSTIFICATIVA

Visando a aplicação de um modelo hidrológico, em um local com significativa relevância ambiental do ponto de vista hidrológico, haja vistas a importância no abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Florianópolis, bem como com disponibilidade de dados, foi selecionada a Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul – BHRCS.

Os municípios de Águas Mornas, Santo Amaro da Imperatriz e São Pedro de Alcântara, integrantes da BHRCS, estão localizados a montante do ponto de captação de água do Rio Cubatão do Sul e desenvolvem principalmente atividades agrícolas e pecuária. Essas atividades contribuem para produção de sedimentos, contaminação por agrotóxicos e pressão sobre a vegetação remanescente podendo também resultar na redução da produção hídrica da bacia hidrográfica. Os municípios também geram despejos domésticos, bem como desenvolvem atividades extrativistas de areia e argila da calha e das margens do Rio Cubatão do Sul. A jusante do ponto de captação está localizado o município de Palhoça, parcialmente inserido na BHRCS.

Somam-se aos problemas a montante, a pressão sobre as atividades pesqueiras artesanais a jusante. Na Baía Sul da Ilha de Florianópolis, que possui o Rio Cubatão do Sul como seu principal rio afluente, desenvolve-se uma das principais atividades comerciais do Estado de Santa Catarina, a produção de moluscos bivalves. A qualidade da água na baía influencia diretamente o desenvolvimento desta atividade, uma vez que esses organismos são filtradores de água. O Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometereologia de Santa Catarina da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A – EPAGRI/CIRAM está desenvolvendo um estudo ambiental para o ordenamento dos parques aquícolas destinados à produção de moluscos bivalves na baía de Florianópolis visando a aplicação de ferramentas para a simulação da dinâmica de liberação e dispersão de poluentes com modelos hidrodinâmicos e hidrológicos (EPAGRI/CIRAM, 2012). O estudo referido utiliza como modelo hidrológico o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Além desse estudo, o EPAGRI/CIRAM utiliza o modelo SWAT em outro estudo relacionado à modelagem hidrológica (EPAGRI/CIRAM, 2013).

O presente trabalho teve por objetivo estimar o balanço hídrico da BHRCS com uso do modelo SWAT, frente às características previamente levantadas de uso e ocupação, características de solos e dados meteorológicos no entorno e inseridas na BHRCS. Os resultados do

trabalho poderão ser utilizados tanto pelos gestores e pesquisadores da BHRCS, como pelo EPAGRI/CIRAM no desenvolvimento de seu estudo.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Estimar o balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul – BHRCS.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterização hidrológica da BHRCS;
- Quantificação do balanço hídrico da BHRCS através do modelo SWAT – *Soil and Water Assessment Tool*.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 *Processos Hidrológicos*

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (TUCCI, 2007). Os processos hidrológicos componentes do ciclo hidrológico podem ser estimados através do balanço hídrico, definido como o cálculo sistemático de medições hidrológicas físicas. (LEWIS & BURG, 1964).

Geralmente o balanço hídrico é calculado para uma etapa do ciclo hidrológico. Para o ciclo de escoamento (*runoff cycle*), o balanço hídrico é compreendido desde a ocorrência da precipitação sobre a bacia hidrográfica, até a subsequente saída pelo exutório. A entrada deste ciclo é a precipitação, enquanto a saída é dividida entre escoamento superficial, escoamento subsuperficial, escoamento de base, recarga de aquífero e evapotranspiração. Enquanto a água passa por esta etapa, armazenamentos ocorrem na superfície, nos canais de drenagem, no solo não saturado e no aquífero. Em eventos de precipitação elevada, o armazenamento de água no solo ocorre de maneira acelerada. Em períodos de maior evapotranspiração, ocorre de maneira lenta (LEWIS & BURG, 1964).

Os processos hidrológicos afetam direta e indiretamente a erosão do solo, o transporte de sedimentos erodidos, a deposição de sedimentos e as características físicas, químicas e biológicas determinantes da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Práticas de manejo de bacias hidrográficas e uso do solo afetam diretamente a erosão, sedimentação e qualidade da água, pois alteram sua dinâmica natural. A erosão dos solos além de causar problemas pontuais pela redução da fertilidade e desenvolvimento de ravinas e voçorocas, impossibilitando o uso agrícola do solo, também compromete a bacia hidrográfica a jusante, podendo causar o assoreamento de rios e reservatórios. As partículas transportadas pela água, em uma área agrícola, podem estar impregnadas de agroquímicos. O desmatamento e a erosão dos solos podem provocar o desaparecimento de mananciais, bem como acentuar os efeitos das inundações (MACHADO, 2002).

4.2 Modelos Matemáticos

Modelo matemático é a representação de um fenômeno de interesse definido como padrões encontrados na natureza que podem ser observados ou constatados. É formado por equações matemáticas que estabelecem a relação entre as variáveis externas ou entradas do modelo e as variáveis de interesse ou saídas do modelo. Parâmetro é um valor que caracteriza um determinado processo do fenômeno de interesse (Tabela 4.1).

Na caracterização de sistemas ambientais a vasta gama de fatores físicos, químicos e biológicos dificulta a análise quantitativa. A modelagem é utilizada para simplificar a representação de processos complexos, como os processos que ocorrem em bacias hidrográficas. Também pode ser utilizada para previsão, preenchimento de variáveis de interesse em um período sem levantamentos de dados e geração de hipóteses, as quais podem ser testadas experimentalmente ou em campo. A aplicação de modelos deve estar relacionada com o levantamento de dados experimentais, laboratoriais e de monitoramento (FRAGOSO *et al*, 2009).

Tabela 4.1 – Elementos da Modelagem.

Elementos da Modelagem	Descrição
Fenômeno de interesse	Fenômenos são padrões encontrados na natureza que podem ser observados ou constatados. Ex: Precipitação, escoamento em rios, eutrofização, etc.
Funções governamentais ou variáveis externas	São funções ou variáveis da natureza que influenciam o estado do ambiente. Quando essas variáveis mudam no tempo e espaço, modelos são usados para prever essas mudanças. Ex: Precipitação, Evaporação, Fluxos de água, Radiação Solar, Temperatura.
Variáveis de estado ou de interesse	São as variáveis que indicam o estado do meio e são função das variáveis de entrada. São denominadas de dados de saída do modelo. Um modelo poderá conter mais variáveis de estado do que realmente precisa, uma vez que uma variável de estado pode explicar outras.

Tabela 4.1 – Elementos da Modelagem (continuação).

Elementos da Modelagem	Descrição
Equações matemáticas	São as relações entre as variáveis externas e de estado e são a representação dos processos físicos, químicos e biológicos.
Parâmetros	O parâmetro é um valor que caracteriza um determinado processo no ecossistema. Pode variar no tempo e espaço e sua faixa de valores é ajustada na calibração para melhor representar a saída do modelo.

Fonte: Fragoso *et al* (2009).

Os diferentes tipos de modelos são classificados em função das variações dos elementos da modelagem (*Tabela 4.2*).

Tabela 4.2 – Classificação de Modelos Matemáticos.

Tipos de Modelo	Descrição
Linear ou não-linear	Quando uma equação matemática representativa de um processo contém apenas uma variável e esta é de Primeira Ordem. Não-Linear quando a entrada de duas variáveis distintas não resultam na soma das variáveis individuais.
Contínuo ou Discreto	Contínuo quando as variáveis são funções contínuas no tempo. Discreto quando mudanças ocorrem apenas quando os eventos discretos ocorrem, independente da passagem do tempo. Geralmente os eventos contínuos são representados por um aglomerado de registros discretos.
Estático ou Dinâmico	Modelo estático é dito permanente. Modelo dinâmico é aquele que sua saída em qualquer tempo depende do resultado do modelo no tempo anterior e das entradas do modelo no tempo atual.
Concentrado ou Distribuído	Todo modelo distribuído é composto por um número finito de elementos, cada um dos quais as variáveis de estado são calculadas de maneira homogênea, ou seja, o modelo concentrado não considera a distribuição espacial.

Tabela 4.2 – Classificação de Modelos Matemáticos (continuação).

Tipos de Modelo	Descrição
Estocástico ou Determinístico	Modelos estocásticos são aqueles que dependem da probabilidade para gerarem a saída em pelo menos uma das variáveis. Determinísticos são aqueles nos quais as relações entre as variáveis externas e as funções governantes são fixadas e as saídas são únicas. Modelos determinísticos são tidos por equações diferenciais enquanto estocástico por estatística.
Unidimensional ou Bidimensional ou Tridimensional	Rios são comumente simulados como unidimensionais. Quando há uma grande heterogeneidade espacial na vertical e horizontal, modelos em duas ou três dimensões são apropriados (temperatura, salinidade em função da profundidade).
Conceitual ou Empírico	Conceitual quando as equações levam em consideração os processos físicos. Empírico quando os valores são calculados por equações de ajuste à dados observados e que não tenham nenhuma relação com os processos físicos envolvidos.

Fonte: Frago *et al* (2009).

4.3 Desenvolvimento de Modelos Hidrológicos

Até a década de 1970 os componentes dos ciclos hidrológicos eram descritos a partir de leis como a lei de Darcy de 1856 e o modelo de infiltração proposto por Horton na década de 1930 (HORTON, 1933 *apud* MARCHIORO, 2008). Zingg 1940 e Smith 1941 na década de estabeleceram os impactos do comprimento e inclinação das encostas na erosão hídrica (ZINGG, 1940; SMITH, 1941 *apud* NEITHSCH *et al*, 2011). O modelo de evapotranspiração de Penman em 1948 foi incorporado ao Monteith em 1965, dando origem ao modelo de evapotranspiração de Penman e Monteith (MONTEITH, 1965 *apud* NEITHSCH *et al*, 2011).

Ainda até o início da década de 1970 predominavam estimativas de erosão dos solos utilizando-se modelos de derivação de equações empíricas, como a Equação Universal de Perda de Solo – USLE (*Universal Soil Loss Equation*) (MARCHIORO, 2008). A USLE foi desenvolvida inicialmente em 1954 no *National Runoff and Soil Data Center* do *Agricultural Research Service* nos EUA. A equação foi evoluída por Wischmeier & Smith em 1978, sendo o método mais dinâmico na modelagem de perda do solo pela ação hídrica, devido ao fato de superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter

uma aplicação generalizada (WISCHMEIER & SMITH, 1978 *apud* MARCHIORO, 2008). Para expressar a produção de sedimentos em uma bacia, a USLE é associada ao emprego de uma taxa de transferência (*Sediment Delivery Ratio* - SDR), que traduz a diminuição da produção bruta que pode ser estimada pela USLE, em decorrência dos depósitos ocorridos na bacia. USLE e SDR resultam de expressões empíricas, ainda limitadas no seu uso pelo fato de considerarem somente a produção anual de sedimentos (TUCCI, 2007).

A USLE não apresenta explicitamente os processos hidrológicos fundamentais na erosão. Considera a erosividade de chuva, relação do produto entre energia cinética de chuva e intensidade máxima de chuva de 30 min. Aborda a bacia em forma de rampa pelo produto entre declividade média e fator de comprimento, não considerando formatos côncavos. A concavidade das bacias é responsável pela predominância de processos de deposição. A USLE também não considera o transporte de sedimentos para fora da bacia (MACHADO, 2002).

A MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*), equação Universal de Perda de Solo Modificada, substitui o fator R de erosividade pela propagação do transporte de sedimentos por processos hidrológicos, prevendo o aporte de sedimentos em um determinado exutório. Dispensa a utilização empírica adicional de aporte de sedimentos e é aplicável à eventos isolados (WILLIAMS & BERNDT, 1977 *apud* MACHADO, 2002).

A partir das décadas de 1970 e 1980, modelos que simulavam produção de sedimentos e deslocamento de produtos químicos, foram baseados no movimento da água no solo. A remoção e transporte é simulada através da ação de chuva e do escoamento superficial, levando em consideração as leis de conservação de massa, energia e momento. (FOSTER, 1998 *apud* MARCHIORO, 2008).

A representação detalhada permitiu que sub-dividissem a área da bacia em formas geométricas sem relação direta com a forma da bacia, mas que caracterizassem internamente os componentes dos processos hidrológicos quanto ao relevo, tipo, uso e profundidade do solo (TUCCI, 1998).

Os principais fatores que permitiram a evolução na modelagem foram os avanços obtidos na descrição dos processos hidrológicos, a melhoria dos sistemas computacionais, a utilização do geoprocessamento e sensoriamento remoto (MARCHIORO, 2008).

Entre os principais modelos desenvolvidos para simular produção de sedimentos pela ação hídrica destacam-se o ANSWER (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*),

AGNPS (*Agricultural Non-Point Source Pollution Model*) EPIC (*Erosion Productivity Management Systems*), WEPP (*Water Erosion Predict Project*) e SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) (MARCHIORO, 2008).

4.4 SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

O SWAT é um modelo hidrológico físico semi-distribuído, em escala de bacia hidrográfica, que pode ser operado em passo sub-diário até anual, com simulações para até 100 anos (FOHRER, ECKHARDT & HAVERKAMP, 1999). O modelo foi desenvolvido para prever o impacto das práticas de uso e manejo do solo sobre a água, o solo e nutrientes em bacias hidrográficas complexas, para longos períodos de tempo. Além de incorporar equações de regressão para descrever a relação entre a entrada e saída de variáveis, o modelo necessita de informações específicas de clima, propriedades de solo, topografia, vegetação e práticas de manejo para o período de dados simulados. Os processos físicos simulados estão associados com o escoamento da água, sedimento, crescimento vegetal de culturas, ciclo de nutrientes e pesticidas, qualidade da água entre outros (NEITSCH *et al*, 2011).

O modelo foi desenvolvido no início dos anos 1990, sendo produto direto do modelo SWRRB (*Simulator for Water Resources in Rural Basin*) e incorpora outros três modelos em sua estrutura, CREAMS (*Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*), GLEAMS (*Groundwater Loadings Effects on Agricultural Management Systems*) e EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*) (NEITSCH *et al*, 2011).

O CREAMS foi um dos modelos precursores na simulação do manejo de solos sobre a água, sedimentos, nutrientes e pesticidas em escala pequena de campos agrícolas, evoluindo para o SWRRB. O SWRRB é um modelo de simulação de carga de poluição difusa em bacias hidrográficas. As principais alterações em relação ao CREAMS foram: permitir a simulação simultânea de múltiplas sub-bacias na estimativa da vazão; incorporação do componente de água subterrânea; armazenamento em reservatórios; assimilação temporal e espacial dos dados de precipitação; radiação solar e temperatura; método de cálculo para hidrograma de pico; incorporação da produção de biomassa pela inclusão do modelo EPIC; inclusão de componentes de transporte de sedimento e deposição em reservatórios, lagos, rios e depressões; rotinas de evento de inundação; e perda da vazão em canais devido à infiltração

ao longo do canal (*transmission loss*). No final dos anos 1980, o SWRRB incorporou também o ciclo de pesticidas; o método SCS de pico de hidrograma; e novas equações de produção de sedimentos. No entanto, se limitava a dividir as bacias hidrográficas em no máximo 10 sub-bacias. Esta limitação levou ao desenvolvimento do modelo ROTO (*Routing Outputs to Outlet*), que armazena e conecta as diferentes saídas do modelo SWRRB e propaga em canais e reservatórios. O SWAT é a união do modelo SWRRB e ROTO (NEITSCH *et al*, 2011). Desde então as principais alterações realizadas no modelo são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Principais alterações no modelo SWAT .

Ano	Principais Alterações
1994	Múltiplas Unidades de Resposta Hidrológicas (HRUs)
1996	Auto-irrigação e autofertilização como opções de manejo; interceptação e armazenamento da precipitação pela vegetação; incorporação de CO ₂ na produção de biomassa para estudos de mudanças climáticas; introdução da equação de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração potencial; escoamento subsuperficial baseado no modelo de armazenamento cinemático; incorporação do modelo QUAL2E para modelagem da qualidade da água em rios;
1998	Incorporação de rotinas de pesticidas em rios; fertilização e manejo de culturas; drenagem agrícola; modificações no modelo para utilização no hemisfério sul;
1999	Rotinas de cultivo de arroz e pântanos; incorporação de equações de drenagem urbana do modelo SWMM (<i>Storm Water Management Model</i> – USEPA - <i>US Environmental Protect Agency</i>)
2000	Rotinas de transporte de bactérias; leitura ou geração de dados diários de radiação, umidade relativa e velocidade do vento; incorporação do método de Muskingum para cálculo de rotinas de propagação de onda cinemática em canais; simulação de número ilimitado de reservatórios
2009	Geração de precipitação horária; opção de definição do CN (<i>Curve Number</i>) diário em função da evapotranspiração ou umidade do solo; modelagem do lançamento pontual de estações de tratamento de esgoto.
2012	Incorporação de mais parâmetros de solos na modelagem, como pH e Carbonatos

Fonte: Neitsch *et al* (2011).

Diversos trabalhos foram e estão sendo realizados em diferentes países com o uso do SWAT.

Fohrer, Eckhardt e Haverkamp (1999) aplicaram o SWAT na modelagem de duas bacias hidrográficas na região montanhosa do estado de Hesse na Alemanha, com o objetivo de avaliar os efeitos sobre o balanço hídrico de um programa governamental de ajuda à produção rural em escala de bacia hidrográfica. As bacias modeladas possuem 81,8 km² e 59,8 km², sendo suas características no presente estudo, utilizadas para calibrar e validar o modelo. Dois cenários de alteração do uso do solo foram avaliados após a calibração e validação, sendo que todo o banco de dados do SWAT foi alterado para as condições locais, como solo, clima, métodos de manejo e culturas, entre outros. Para calibração da bacia menor, foram utilizados dois anos de série histórica de dados diários, alterando os parâmetros CN (*Curve Number*) e propriedades do solo. Obtiveram coeficiente de eficiência NSE (*Nash & Sutcliffe*) de 0,74 para vazão mensal e coeficiente de determinação R² de 0,92. Outros dois anos de série histórica foram usados na validação, obtendo NSE de 0,85. Os autores concluíram que no verão o modelo poderia subestimar a vazão desta bacia hidrográfica em função de os sistemas de tratamento de efluentes responderem em até 30% da vazão no exutório e não ter sido considerados como fonte pontual na entrada de dados. A bacia maior não foi calibrada e os resultados foram avaliados sobre as médias mensais. Os autores concluíram que o R² foi muito baixo, com valores de 0,71 e NSE de 0,79 na comparação dos dados observados e modelados, recomendando que estudos de aplicação de mudanças do uso do solo não são coerentes sem calibração. Os resultados apontaram que houve um incremento de até 100% no escoamento superficial do cenário de incentivo ao pastoreio. A evapotranspiração anual obteve incrementos similares, devido ao aumento significativo desta variável nas áreas de culturas que substituíram hipoteticamente as áreas de pastoreio do cenário de incentivo. O artigo conclui que resultados sobre o balanço hídrico são sensíveis somente se houver mais de 20% de alteração no manejo da bacia hidrográfica.

No Brasil, o ano de início da aplicação do SWAT em bacias hidrográficas brasileiras é 1999, culminando em 2010 em mais de 70 publicações, entre teses, dissertações e artigos (GARBOSSA *et al*, 2011). Em 84% dos estudos o modelo foi utilizado para modelar vazão e sedimento e 16% incluíram a modelagem de nutrientes. De maneira geral, as bacias hidrográficas modeladas variam de 8,56 km² a 29.000

km², e utilizam rotinas mensais na simulação, sendo que a grande maioria dos trabalhos não validou o modelo (GARBOSSA *et al*, 2011).

Schultz *et al* (2010) utilizaram o modelo SWAT para simular a produção de sedimentos diários e mensais da bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro com 788 km² de área de drenagem, localizada entre os estados do Paraná e Santa Catarina, com dez anos de dados amostrais. Foi obtido NSE para vazão com dados diários de 0,71. Após calibrarem para a produção e transporte diários de sedimentos, obtiveram NSE de 0,38. Os autores deste estudo concluíram que os processos hidrológicos devem ser muito bem calibrados, pois a redução do coeficiente de eficiência para a produção de sedimentos foi devido ao valor superestimado em eventos de grande vazão líquida, e valores subestimados para eventos moderados de vazão líquida.

Santos *et al* (2010) modelaram o transporte e produção de água e sedimento na bacia hidrográfica do Rio Apucarantina, no estado do Paraná, em bacia hidrográfica de 504 km². Utilizando dados diários entre 1988 e 2005, obtiveram respectivamente 0,73 e 0,78 de NSE. As condições atuais da bacia no estudo eram de 26% de Floresta Subtropical, 60% de agricultura, 13% de pastagem e área urbana inferior a 1%.

Para a Bacia do Rio Cubatão do Sul não foram encontrados trabalhos relacionados com o SWAT. No entanto, outros modelos foram aplicados a esta bacia.

Kobiyama e Chaffe (2008) avaliaram o balanço hídrico anual para a BHRCS utilizando o modelo HYCYMODEL, para o período de 1977 a 1994. Em seus resultados, 62% e 44% da precipitação anual (1563 mm) são devidos à vazão total e evapotranspiração respectivamente, sendo 6% de acréscimo da disponibilidade hídrica devido à água armazenada no solo. 74% da vazão total foi devida ao escoamento de base. Dentre seis tipos diferentes de métodos de estimativa de evapotranspiração avaliados, obtiveram uma relação entre Evapotranspiração Real e Potencial de 0,58 em relação ao Método de Penman Modificado e 0,69 para o método de Thornthwaite.

4.5 Métodos de Avaliação de Modelos Hidrológicos

A avaliação da qualidade de resultados de modelos hidrológicos passa obrigatoriamente por três procedimentos: Análise de Sensibilidade, Calibração e Validação. A análise de sensibilidade é processo de determinação do grau de variação dos dados modelados em

relação aos dados de entrada, onde é estabelecido os parâmetros chave de influência sobre o modelo. A calibração é o processo de estimativa de ajuste dos parâmetros do modelo, comparando os dados modelados, com dados observados para um mesmo período. Validação é o processo que envolve a utilização de dados de entrada para outro período de dados não utilizados na calibração, para verificar a exatidão do modelo (MORIASI *et al* (2007)).

Para avaliação estatística da qualidade e exatidão de cada etapa, Moriasi *et al* (2007) propuseram técnicas e faixa de valores específicas para modelos hidrológicos, baseados na aplicabilidade para diferentes modelos e condições climáticas, uso comum, aceitação e recomendação em publicações. Esse autor recomenda métodos estatísticos e métodos gráficos como técnicas de avaliação. Os métodos estatísticos quantitativos são divididos em três categorias principais: regressão padrão, métodos estatísticos que não possuem relação física com o modelo (*dimensionless techniques*) e métodos que avaliem o erro associado (*Error Index*).

Dos métodos de regressão padrão são sugeridos o coeficiente de correlação Pearson (r), coeficiente de determinação R^2 , *Slope* (indica relação linear entre dados modelados e observados) e *y-intercept* (verifica o espalhamento dos dados).

Para o coeficiente de determinação R^2 , valores próximos de 1 significam melhor relação entre dados observados e modelados. A equação 1 apresenta o cálculo de R^2 onde Q_o^t é a vazão observada no tempo t , Q_m^t é a vazão modelada no tempo t , $\overline{Q_o}$ é a vazão média observada e $\overline{Q_m}$ é a vazão média modelada.

$$R^2 = \frac{(\sum_{t=1}^n (Q_o^t - \overline{Q_o})(Q_m^t - \overline{Q_m}))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o^t - \overline{Q_o})^2 \sum_{i=1}^n (Q_m^t - \overline{Q_m})^2} \quad (1)$$

Para os métodos sem relação física, o método mais utilizado é o *Nash and Sutcliffe Efficiency* (NSE), ou coeficiente de eficiência, sendo um método estatístico normalizado que compara variancia residual entre os dados observados e modelados (numerador) com a variancia residual entre os dados observados e a média dos dados observados (denominador) (MORIASI *et al*, 2007). Valores de NSE estão compreendidos no intervalo $(-\infty, 1]$, sendo 1 a perfeita relação entre os dados observados e modelados. NSE igual a zero indica que os dados modelados aproximam-se da média dos dados observados. NSE inferior

a zero indica que a média dos dados observados são melhores para previsão que os dados modelados (MORIASI *et al*, 2007). A equação 2 apresenta o cálculo de NSE, onde Q_o^t é a vazão observada no tempo t, Q_m^t é a vazão modelada no tempo t e $\overline{Q_o}$ é a vazão média observada.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{t=1}^n (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_o^t - \overline{Q_o})^2} \right] \quad (2)$$

Para os métodos de erro associado (*Error Index*) são sugeridos por Moriasi *et al* (2007) o *PBIAS* e *RSR*. *PBIAS* estima a tendência média de uma série de dados simulados ser maior ou menor que seus correspondentes observados. O valor ideal é zero, sendo valores negativos indicativos de modelagem subestimada e positivos de modelagem superestimada. *RSR* (*RMSE-observations standart deviation ratio*) é definido como a variância (*RMSE* - *Root Mean Square Error*) normalizada pelo desvio padrão (*STDEV_{obs}*). Valores próximos a zero indicam zero de variância. Valores positivos elevados indicam grande variabilidade entre dados observados e modelados. A equação 3 apresenta o cálculo de *PBIAS* e a equação 4 o cálculo de *RSR*, onde Q_o^t é a vazão observada no tempo t, Q_m^t é a vazão modelada no tempo t e $\overline{Q_o}$ é a vazão média observada.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{t=1}^n (Q_o^t - Q_m^t) * 100}{\sum_{t=1}^n (Q_o^t)} \right] \quad (3)$$

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\left[\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_o^t - Q_m^t)^2} \right]}{\left[\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_o^t - \overline{Q_o})^2} \right]} \quad (4)$$

5 ÁREA DE ESTUDO

A BHRCS está localizada no Estado de Santa Catarina, englobando integralmente os municípios de Águas Mornas e Santo Amaro da Imperatriz, e parcialmente os municípios de São Pedro de Alcântara e Palhoça. Dentre as oito macrobacias hidrográficas brasileiras, está inserida na Bacia Hidrográfica do Sudeste. De acordo com a atual classificação de bacias hidrográficas catarinenses (SANTA CATARINA, 1998), é denominada inserida na Região Hidrográfica 8, juntamente com as bacias do Rio Tijucas, Rio Madre, Rio Biguaçu e demais microbacias da região, incluindo a Ilha de Florianópolis (*Figura 5.1*).

Possui área de 746 km², localizada entre as latitudes 27°35'46" S e 27°52'50" S e longitudes 48°38'24" O e 49°02'24" O (KOBAYAMA & CHAFFE, 2008). 342 km² da BHRCS estão inseridos no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (PEREIRA & ZANIN 2002).

5.1 *Hidrografia e Relevô*

Seu rio principal, Rio Cubatão do Sul, origina-se da confluência dos Rios do Cedro e Bugres, com extensão total de 62 km (EPAGRI/CIRAM, 2012). Possui vazão Q_{90} (vazão com 90% de permanência) de 11,41 m³.s⁻¹, e $Q_{7,10}$ (vazão média de estiagem de 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno) de 4,75 m³.s⁻¹ (SANTA CATARINA, 2007).

A rede de drenagem possui sentido Leste, sendo seus principais afluentes os Rios do Salto, dos Bugres, das Águas Claras, Forquilhas, Ribeirão Vermelho, Rio Matias e Rio Vargem do Braço. A foz possui característica de meandros e ecossistema de manguezal, denominado manguezal da Palhoça (PEREIRA & ZANIN 2002).

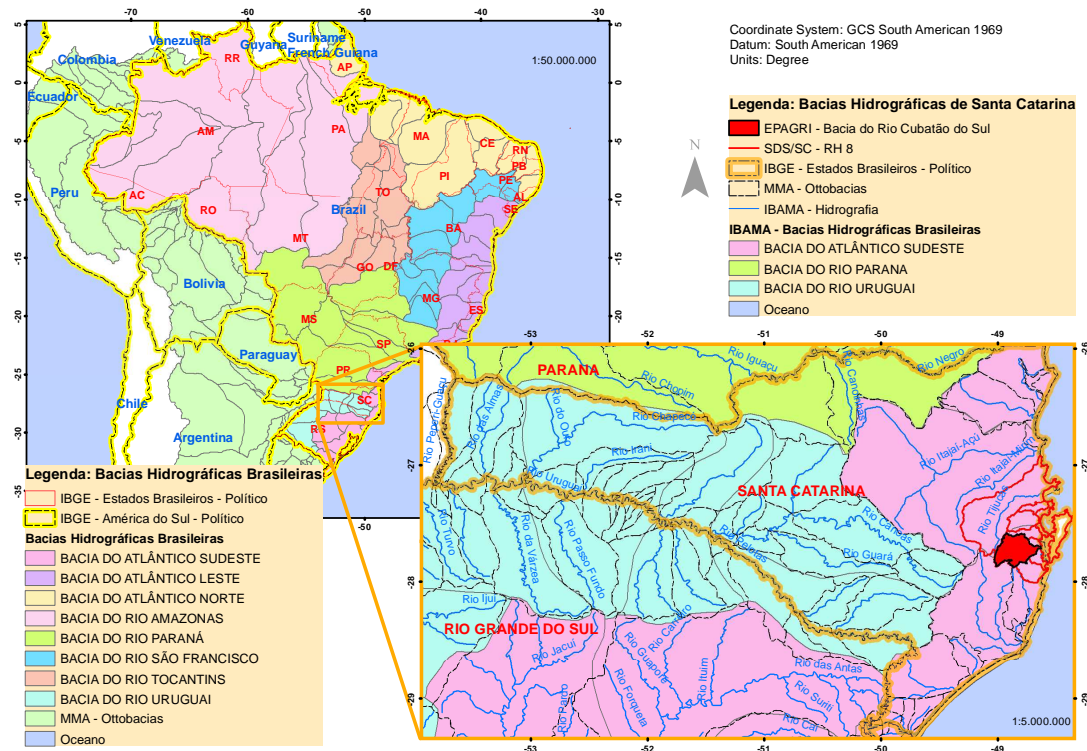


Figura 5.1 – Bacias Hidrográficas Brasileiras e localização da BHRCS.

O perfil altimétrico do Rio Cubatão do Sul varia de 1000 m até o nível do mar, sendo que 95% do rio apresenta declividades médias inferiores à 3,3%. Somente o primeiro trecho, da nascente ao km 3 possui declividade média de 14%. Devido às baixas declividades nos últimos 20 km da bacia, a influência da maré na captação do Rio Cubatão do Sul é controlada pela barragem no km 51,4. O exutório da bacia para realização da modelagem foi considerado no km 55,5 do Rio Cubatão do Sul (*Figura 5.2*). O perfil altimétrico foi obtido através do Modelo Numérico do Terreno gerado com as curvas de nível e da hidrografia das cartas topográficas da EPAGRI/CIRAM (EPAGRI/CIRAM 2012). A altimetria da BHRCS varia de 1260 m ao nível do mar (*Item 6.3.2.1*).

O relevo é do tipo predominantemente forte-ondulado, montanhoso, com solos rasos e mediantemente profundos, apresentando baixa disponibilidade de nutrientes, desenvolvidos a partir de rochas graníticas e xistos (SANTA CATARINA, 2007).

5.2 Cobertura Vegetal, Uso e Ocupação e Unidade de Conservação

A vegetação da bacia original compreende a Floresta Tropical Atlântica (Floresta Ombrófila Densa) e a Floresta de Araucária (Floresta Ombrófila Mista). Espacialmente, a área da bacia na porção sul do Rio Cubatão do Sul apresenta características de Mata Atlântica, enquanto a porção ao norte, a Floresta de Araucária. Na região à oeste da bacia, mas compreendendo uma parcela muito pequena, há a influência de vegetação de campos de altitude, gramíneo lenhosas (Savanas). (BRASIL, 2013).

Grande parcela da Mata Atlântica da BHRCS é protegida pelo Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, respondendo por 46% da área da bacia, de gestão da Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina - FATMA, criado em 1975 (WWF, 2013) (*Figura 5.4*). A microbacia do Rio Vargem do Braço é a principal vertente do Parque em direção ao Rio Cubatão do Sul, sendo o principal manancial da ETA Morro dos Quadros, devido à qualidade da água bruta captada.

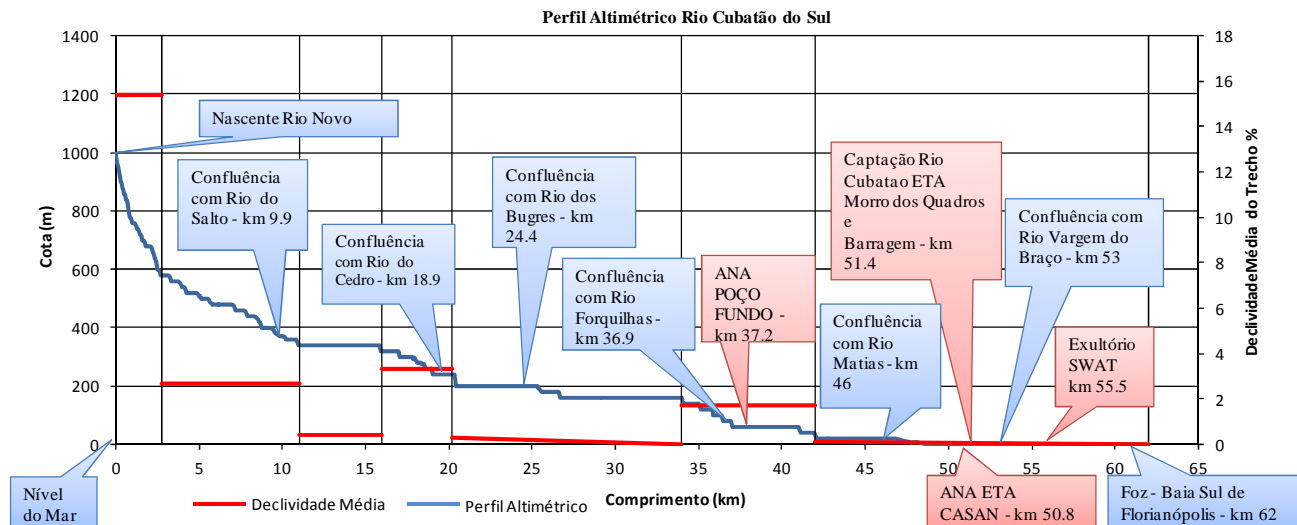


Figura 5.2 – Perfil Altimétrico e Declividades Médias do Rio Cubatão do Sul.

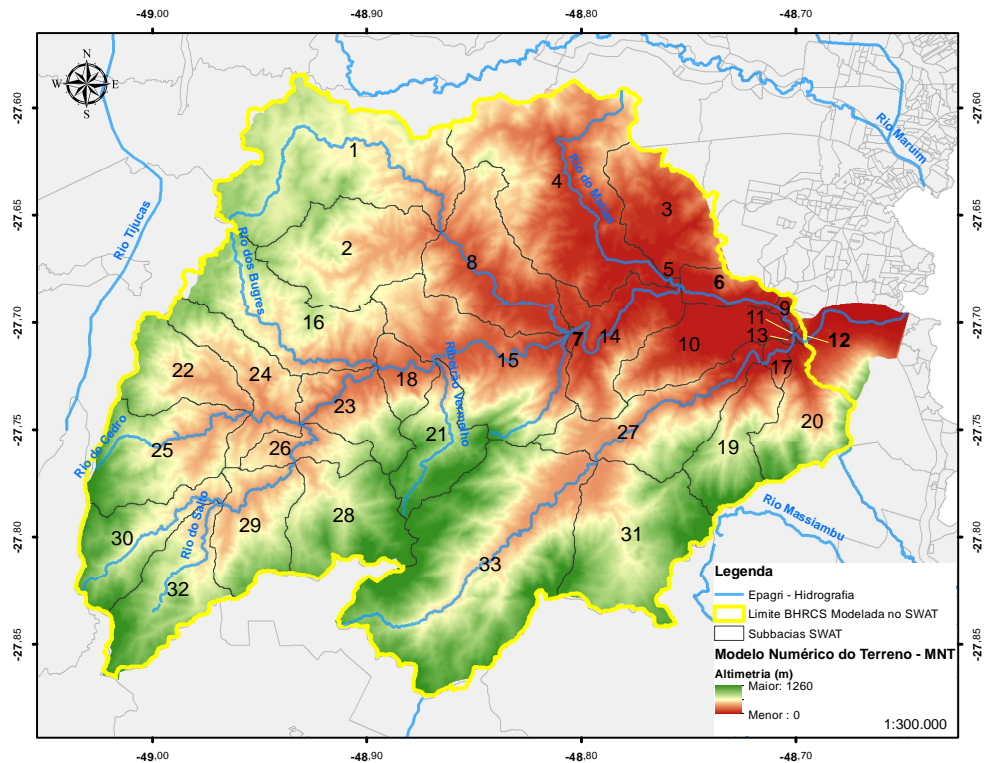


Figura 5.3 – Modelo Numérico do Terreno da BHRCS

A ocupação e uso do solo da bacia apresenta grande preservação em relação à área total, com mais de 77% de áreas com Florestas em estágio inicial, médio ou avançado, segundo o Programa de Proteção da Mata Atlântica (FATMA, 2012). A agricultura responde por menos de 2%, enquanto Pastagens e Campos Naturais chegam a 20% da área, sendo considerável essas áreas ao longo do Rio Vargem do Braço, dentro do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (*Tabela 5.1 e Figura 5.5*).

Tabela 5.1 – Classes de uso e ocupação da BHRCS.

Classe	Área	
	Valor (km ²)	%
Agricultura	12,27	1,68
Área de Mineração	0,18	0,03
Área urbanizada e/ou construída	12,89	1,76
Corpos d'Água	0,95	0,13
Florestas em estágio inicial (pioneiro)	0,91	0,12
Florestas em estágio médio ou avançado	564,4	77,19
Mangues (formação pioneira exclusiva)	1,68	0,23
Pastagens e Campos Naturais	145,74	19,93
Reflorestamentos	4,12	0,56
Solo Exposto	0,29	0,04
Total	743,43	100,00

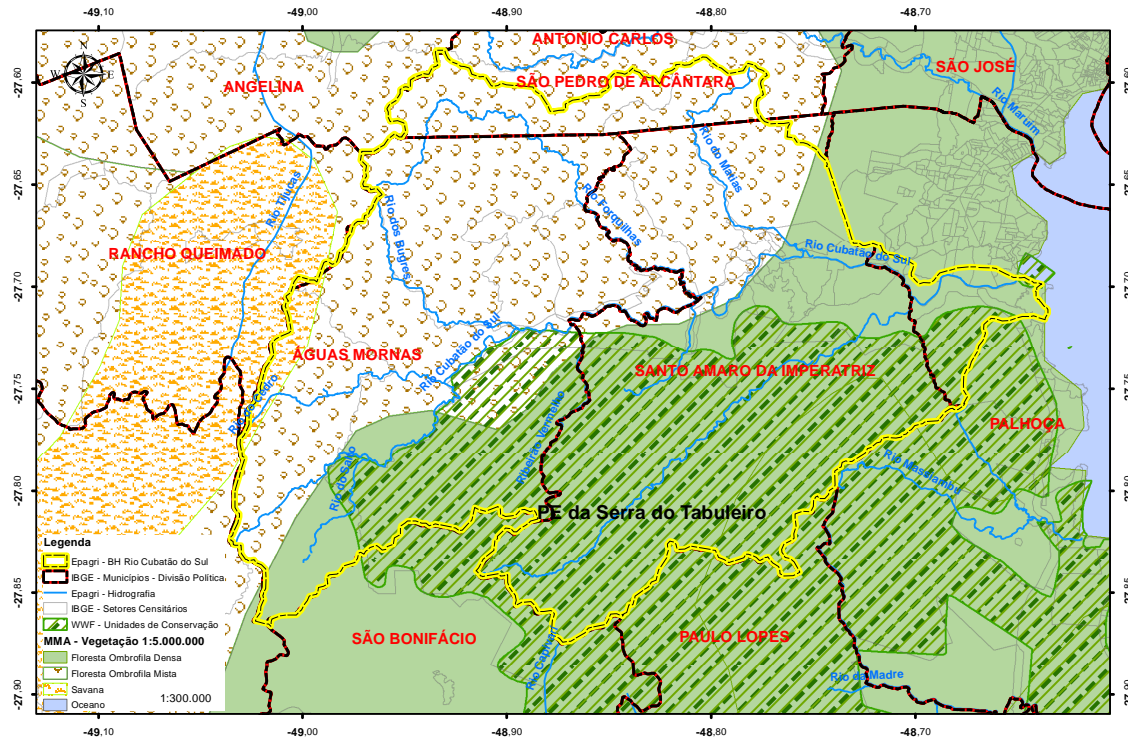


Figura 5.4 – Vegetação da BHRCS e Parque Estadual da Serra do Tabuleiro.

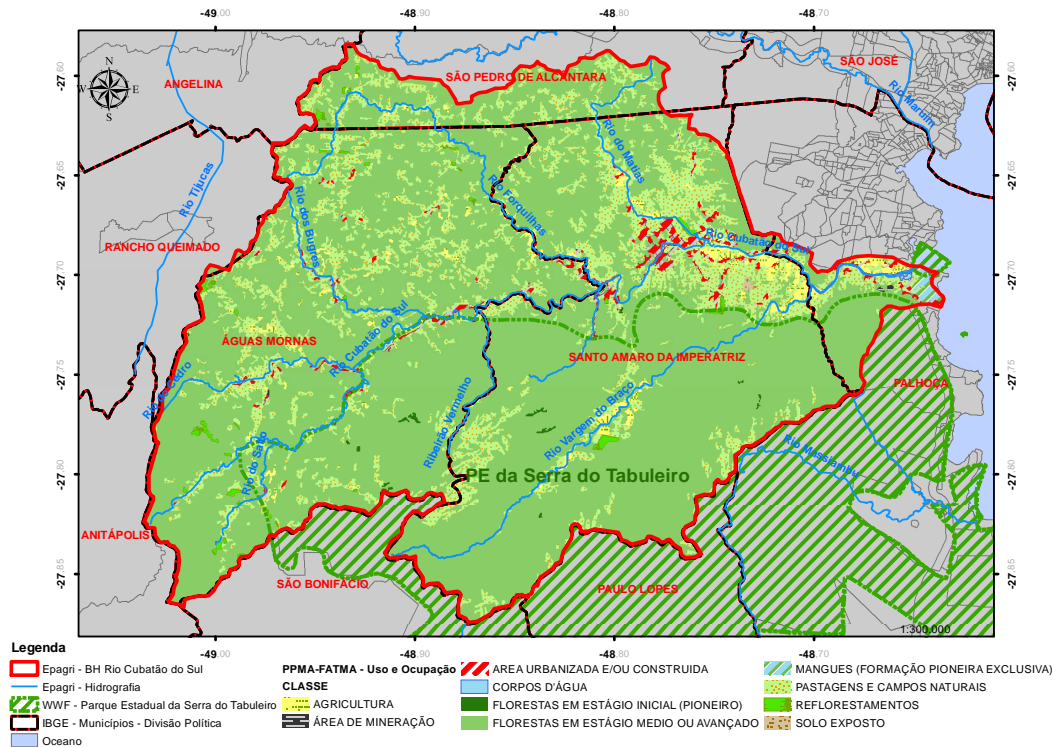


Figura 5.5 – Uso e Ocupação da BHRCS

5.3 Solos

A BHRCS possui em grande parte de sua área solos de classe Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho Amarelo.

A *Figura 5.6* apresenta a distribuição espacial das classes de solos da BHRCS (EMBRAPA,1998). A codificação das classes de solos é baseada na última classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS (EMBRAPA, 2009). A *Tabela 5.2* apresenta a área de cada classe de solo dentro da BHRCS.

Tabela 5.2 – Classes de solos da BHRCS.

SBCS	Solo	Área	
		Valor (km ²)	%
AR	Afloramento Rochoso	48,40	6,51
AGUA	Água	5,88	0,79
PVA	Argissolo Vermelho Amarelo	184,45	24,81
CX	Cambissolo Háplico	420,84	56,61
CH	Cambissolo Húmico	0,36	0,05
GX	Gleissolo Háplico	48,18	6,48
RL	Neossolo Litólico	32,81	4,41
H	Solo Urbano	0,26	0,03
Ilha	Ilha – solo indefinido	0,04	0,01
SM	Solos Indiscriminados de Mangue	2,15	0,29
Total		743,35	100,00

Fonte: EMBRAPA (1998).

O SBCS define os Cambissolos como solos caracterizados por possuírem uma pedogênese pouco avançada, evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, alteração do material de origem expressa pela quase ausência da estrutura da rocha, ou da estratificação dos sedimentos, cromas fortes, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevados que os horizontes subjacentes. O termo Cambi, troca, é referido por haver o horizonte B incipiente, subjacente a horizonte A, Ap ou AB, característica esta que confirma o grau de alteração química e física não muito avançado, mais suficiente para o desenvolvimento da cor e unidades estruturais, onde mais da metade do

volume de todos os sub horizontes não consiste na estrutura da rocha original.

Os Argissolos são solos constituídos por material mineral com a presença de horizonte B textural de argila de baixa atividade, ou alta conjugada com saturação por bases. Este horizonte encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial para os Argissolos. De maneira geral, apresentam um evidente incremento no teor de argilas e textura subsuperficial franco-arenosa.

Os Neossolos são solos pouco evoluídos, sem horizonte B definido, predominando as características da rocha original. Os Neossolos Litólicos são solos com horizonte A ou hístico (mineral), ascendente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões).

Os Gleissolos compreendem os solos hidromórficos de material mineral, com horizonte Glei nos primeiros 150 cm ou hístico com menos de 40 cm. Encontram-se naturalmente, permanente ou periodicamente saturados por água, podendo apresentar textura arenosa nas primeiras camadas, quando seguidas de horizonte Glei formados principalmente pela deposição de sedimentos. O horizonte Glei é definido como um horizonte mineral caracterizado por redução de ferro devido à estagnação de água. Sofre forte influência de lençol freático.

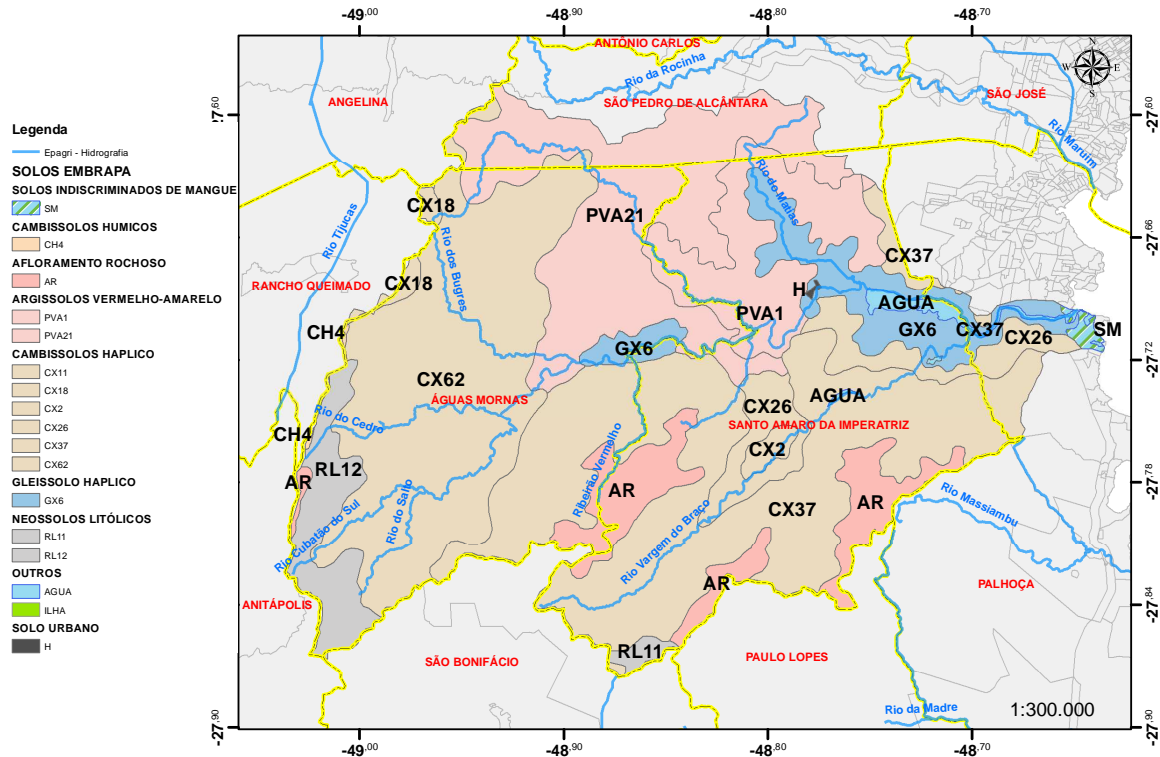


Figura 5.6 – Mapa de classificação de solo da BHRCS.

5.4 População

Devido à esta caracterização geomorfológica, a população da Bacia do Rio Cubatão do Sul concentra-se ao longo de seu Rio principal. São Amaro da Imperatriz e Águas Mornas possuem respectivamente 75% e 42% de sua população em área urbanizada adjacente ao Rio. A população total da Bacia é de 35768 habitantes, sendo que 82.4% desta, pertencente aos municípios de Santo Amaro da Imperatriz e 7% do município de Palhoça, conforme *Tabela 5.4.*

A concentração de habitantes por km² de Santo Amaro e Palhoça inserida na BHRCS atinge 3943 hab.km⁻² e 1494 hab.km⁻² respectivamente, nos setores censitários mais concentrados (*Figura 5.7*).

A população de São Pedro de Alcântara inserida na bacia está distribuída em área rural exclusiva, enquanto, a população de Palhoça, em área urbanizada (*Tabela 5.3*).

Tabela 5.3 – População da BHRCS.

Município	População Total	População do município na BHRCS		População em relação à população total da BHRCS
		hab.	%	%
Santo Amaro da Imperatriz	19.823	19.823	100	55,5
Águas Mornas	5.548	5.548	100	15,5
Palhoça	137.334	9.644	7	26,9
São Pedro de Alcântara	4.704	753	16	2,1
População Total da BHRCS		35.768	-	100,0

Fonte: IBGE (2010).

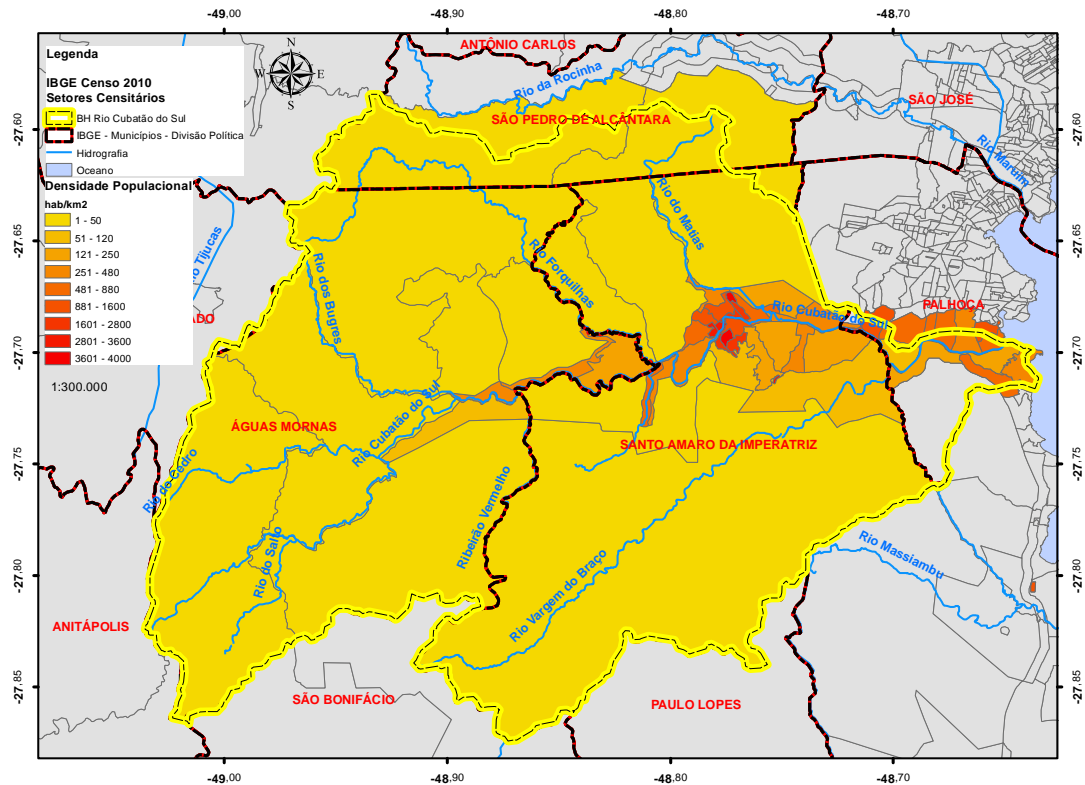


Figura 5.7 – Mapa de densidade populacional.

Tabela 5.4 – Densidade Populacional e População Urbana.

Município	Densidade Populacional		População em Área Urbana
	Média do Município	Maior Setor Censitário na BHRCS	
	hab.km ⁻²	hab.km ⁻²	%
Santo Amaro da Imperatriz	58	3.943	76
Águas Mornas	17	462	42
Palhoça	198	1.494	98
São Pedro de Alcântara	9	9	0

Fonte: IBGE (2010).

Clima

De acordo com classificação Köppen, o clima regional é classificado como Cfa, subtropical úmido com verões quentes, com pluviosidade anual de 1563 mm entre 1973 e 1994 (KOBİYAMA & CHAFFE, 2008). O relevo e vegetação da BHRCS favorecem a intensificação deste microclima, devido o alinhamento das montanhas no sentido leste oeste na parte sul da BHRCS, com mais de 1200 m de altitude (Pico do Cambirela 1275 m), protegendo a bacia de ventos polares, e retendo massas de ar quente do norte (PEREIRA & ZANIN 2002).

5.5 Usos da água para abastecimento na BHRCS

A BHRCS fornece mais de 85% da água captada para a Região Metropolitana da Grande Florianópolis, abastecendo os municípios de Florianópolis, São José, Biguaçu, Palhoça e Santo Amaro da Imperatriz. A captação é realizada em dois pontos no município de Santo Amaro da Imperatriz. Um está localizado dentro do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, no Rio Vargem do Braço, afluente na margem direita do Rio Cubatão do Sul, possuindo proteção de toda sua área a montante, através do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, e o outro ponto de captação localizado no próprio Rio Cubatão do Sul, a jusante da cidade de Santo Amaro da Imperatriz e a montante da junção entre os Rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço. A água captada nos dois pontos é

conduzida para a Estação de Tratamento de Água – ETA Cubatão – na localidade de Morro dos Quadros em Santo Amaro da Imperatriz.

Quanto aos usos da água, a BHRCS responde por 87 % da água captada em toda a Região Metropolitana da Grande Florianópolis, evidenciando a necessidade de práticas de gestão do uso da água na bacia *Tabela 5.5*. A água captada no Rio Cubatão do Sul e Vargem do Braço é conduzida à ETA Morro dos Quadros, abastecendo os municípios de Santo Amaro da Imperatriz, Palhoça, São José, Biguaçu e Florianópolis. Além dos usos para abastecimento, havia em 2005 pelo menos 5 concessões de extração de água mineral na BHRCS (SANTA CATARINA, 2007).

Tabela 5.5 – Sistema de Captação de Água da Região Metropolitana geridos pela CASAN.

Município	Local Atendido	Captação	Vazão de Captação	
			L/s	%
Águas Mornas	Sede	Rio Águas Claras	7	0,3
Florianópolis	Sede	Lagoa do Peri	200	8,7
	Outros	Outros	66	2,9
Palhoça	Praia de Fora	Rio Cambirela	14	0,6
Santo Amaro da Imperatriz	RMGF**	Rio Cubatão do Sul	1.200	52,3
		Rio Vargem do Braço	800	34,9
São José	Colônia Santana	Córrego da Colônia	3	0,1
São Pedro de Alcântara	Sede	IND*	3	0,1
Total			2.293	100,0

Fonte: SANTA CATARINA (2007).

* Informação Não Disponível. **Região Metropolitana da Grande Florianópolis.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização da modelagem hidrológica faz-se necessário primeiramente a definição temporal dos dados, definição das estações meteorológicas com dados disponíveis, inseridas ou localizadas no entorno da bacia hidrográfica e *softwares* específicos compatíveis com a versão do modelo SWAT a ser utilizada para modelagem.

6.1 *Software*

- SWAT 2009.10.1/ArcSWAT - Desenvolvido por *Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station* e *USDA Agricultural Research Service*. – *Software* de modelagem hidrológica específico do presente estudo. Disponível gratuitamente em: http://swat.tamu.edu/media/58435/arcsbat_install_2009.10.1.zip.

- *WGNmaker 4.1* - Programa estatístico que calcula médias meteorológicas mensais, a partir de dados diários. As médias mensais servem para preenchimento de falhas das estações circunvizinhas. Disponível gratuitamente em: <http://swat.tamu.edu/media/41583/wgen-excel.zip>.

- Dew02 – Programa para cálculo do Ponto de Orvalho mensal, necessário para o banco de dados do SWAT, baseado em dados diários de temperatura máxima e mínima e umidade relativa. Disponível gratuitamente em: <http://www.brc.tamus.edu/swat/dewpoint.zip>

- SWAT *Error Checker Version 0.95* for ArcSWAT 2009. Desenvolvido por *Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station* e *USDA Agricultural Research Service*. Avalia possíveis erros nos dados de entrada e saída do modelo, bem como apresenta o balanço hídrico global simulado. Disponível gratuitamente em: http://swat.tamu.edu/media/58373/SWAT_Check_2011-09-28.zip,

- ArcGIS 10 Service Pack4 Build 4000 e ArcGIS *Spatial Analyst 10 extension*, desenvolvidos pelo *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, *Redlands, California, USA*. Software para armazenamento e processamento de informações georreferenciadas.

6.2 Descrição do Modelo SWAT

As considerações nesta seção refletem a metodologia apresentada por Lubitz (2009) por sua vez baseadas no Manual Teórico do SWAT (NEITSCH *et al*, 2011).

Os dados de entrada do modelo são sub-divididos em dados meteorológicos e dados espaciais (modelo numérico do terreno, hidrografia, uso e ocupação do solo, classes de solos, declividade).

A interface do programa é vinculada ao software ArcGIS e inicia a entrada de dados na interface Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica. O modelador insere nesta seção o Modelo Numérico do Terreno, informa a projeção e unidade de medida de distância desejada; opta por inserir a hidrografia e forçar o modelo a reconhecer o sentido do escoamento ou opta pelo modelo definir automaticamente a rede de drenagem. Também nesta seção define os pontos de monitoramento da bacia, exutórios, pontos de adução de água, despejo de efluentes ou transposição de bacias, bem como saída de reservatórios, lagos e *wetlands*. O modelo irá delimitar e calcular os parâmetros hidrológicos de cada sub-bacia, como origem, destino, rede de drenagem, rio principal, declividade, tempo de concentração, entre outros. Para esta função o modelo utiliza as funções do *Spatial Analyst Extension* do ArcGIS.

Após definida a primeira seção, a próxima etapa é a denificação das Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs). Definidas e inseridas pelo usuário o mapa de uso do solo, com os parâmetros de cada solo, estabelecido a relação entre Mapa de Uso e Ocupação e o Banco de Dados do SWAT, e por fim definidas as classes de declividades, o modelo gera as HRUs.

HRUs são áreas contendo características idênticas de uso do solo, tipo de solo e declividade permitindo que o modelo responda separadamente para cada HRU quanto à evapotranspiração, condições hidrológicas, produção de sedimentos e qualidade de água (*Tabela 6.3 a Tabela 6.14*). Escoamento é estimado separadamente para cada HRU e simulado posteriormente em sequência para calcular o escoamento de cada subbacia (*Tabela 6.15 e Tabela 6.16*). O usuário pode escolher entre estimar um único HRU para cada subbacia ou múltiplos HRUs. Escolhendo múltiplos, o usuário deve definir a sensibilidade da influência de usos do solo, sobre tipos de solo, sobre declividades (*Item 7.2 – Aplicação do modelo*).

Após esta etapa, o usuário insere os dados meteorológicos de cada estação, sendo os dados mensais do gerador climático (*Weather Generator*) previamente inseridos no banco de dados do modelo.

Finalizada a inserção de dados iniciais, o usuário pode optar por editar cada parâmetro inserido no modelo manualmente, bem como definir parâmetros para escoamento, como coeficiente de manning, parâmetros de manejo, fontes pontuais, entre outros.

Finalizada toda a edição, o programa está apto a ser executado.

Após executado o modelo, o modelador deve obrigatoriamente avaliar os dados simulados, tanto estatisticamente como graficamente. A análise de sensibilidade do modelo permite definir quais parâmetros possuem maior influência à saída do modelo.

A *Figura 6.1* apresenta o fluxograma do presente trabalho. Conforme apresentado no fluxograma, esta modelagem não terá por objetivo a análise de sensibilidade, calibração e validação. Os dados modelados serão analisados estatisticamente com os dados observados pela estação ANA ETA Casan Montante.

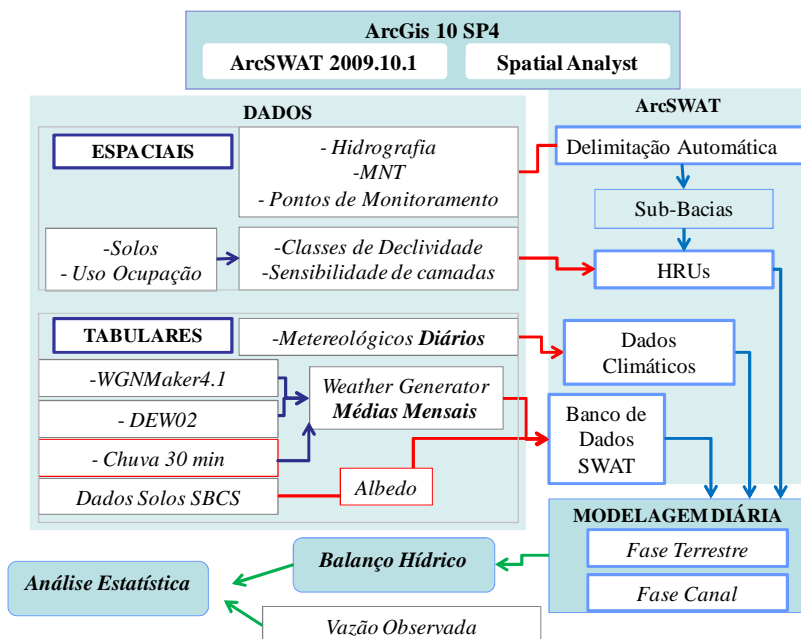


Figura 6.1 – Fluxograma do Presente Trabalho.

6.2.1 Metodologia de Cálculo

A simulação hidrológica do modelo é dividida entre fase terrestre e fase de canal inserida dentro de cada HRU. A fase terrestre é subdividida em sete módulos: clima, hidrologia, cobertura vegetal/crescimento de plantas, erosão, nutrientes, pesticidas e práticas de manejo. A fase de canal é subdividida em propagação de onda e qualidade da água.

A fase terrestre do modelo compreende a determinação do balanço hídrico da bacia, onde o armazenamento de água no solo para o tempo t é determinado pela condição inicial antecedente somado à precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração, infiltração e recarga de aquífero.

A determinação do escoamento superficial obedece a metodologia do SCS *CN* (*US Soil and Conservation Service - Curve Number*) ou coeficiente de deflúvio, onde o escoamento superficial ocorre quando a quantidade de água na superfície do solo exceda a sua capacidade de infiltração (*Equação 9*). Pelo método SCS, isto ocorre quando a precipitação (R_i) for maior que 20 % da capacidade de retenção do solo (S), que por sua vez é função das características de impermeabilidade do solo, condição antecedente de umidade e uso do solo.

A *Tabela 6.1* apresenta valores de *CN* e n Manning para diferentes usos de solo do banco de dados do SWAT 2009.

Tabela 6.1 – *CN* e n para diferentes usos de solo.

Grupo Hidrológico			A	B	C	D
Cód. SWAT	Uso do Solo	OV_N	CN2A	CN2B	CN2C	CN2D
AGRL	Agricultura	0,14	67	77	83	87
AGRC	Solo Exposto	0,14	62	73	81	84
FRST	Floresta	0,10	36	60	73	79
WETL	<i>Wetland</i>	0,05	49	69	79	84
PAST	Pastagem	0,15	49	69	79	84
WATR	Água	0,01	92	92	92	92
PINE	Reflorestamento	0,14	25	55	70	77
URBN	Área Urbana	0,10	31	59	72	79

* CN2 = Curve Number, Condição Umidade Antecedente 2

* OV_N = Coeficiente de Manning (n)

A definição dos grupos hidrológicos é baseada na classificação feita pelo U.S. Natural Resource Conservation Service (NRCS), definindo grupos hidrológicos com mesmo potencial de escoamento, sobre condições similares de precipitação e cobertura vegetal (NEITSCH *et al*, 2011) (Tabela 6.2).

A condição de umidade antecedente do método SCS é determinada com base em três classes; 1 - Seca, 2 - Média e 3 – Saturada. Como os parâmetros de cálculo do método SCS são para a condição 2, a conversão é realizada pelas equações 10 e 11 (Tabela 6.4).

Tabela 6.2 – Grupo Hidrológicos de Solos. (NRCS, 2007).

Grupo Hidrológico	Característica
A – Baixo Potencial de Escoamento	Solo com alta taxa de infiltração, mesmo em condição saturada. Solos profundos, Menos de 10% de argila e 90% de areia ou cascalho, texturas de areia e cascalho. $K > 144$ mm/h.
B – Moderadamente à Baixo Potencial de Escoamento	Solo com moderada taxa de infiltração em condição saturada. 10% a 20% de argilas, 50 % a 90 % de areia. $36 < K < 144$ mm/h.
C – Moderado Potencial de Escoamento	Solo com baixa taxa de infiltração em condição saturada. $3,6 < K < 36$ mm/h. Solos com 20 % a 40% de argila e $< 50\%$ de areia.
D – Alto Potencial de Escoamento	Solo com reduzidas taxas de infiltração em condição saturada. Solos com mais de 40% argila e menos de 50% de areia. $K < 3,6$ mm/h.

* K = Coeficiente de Condutividade Hidráulica Saturada.

6.2.2 Evapotranspiração

O SWAT calcula evapotranspiração por três métodos dependendo da disponibilidade de dados. Hargreaves (1985), Priestley (1972) e Penman-Monteith (1965). O cálculo da evaporação de solos e plantas é separado. A evaporação potencial da água do solo e a transpiração das plantas são funções da evapotranspiração potencial e do índice de área foliar. Primeiro no cálculo da evapotranspiração real, remove toda a água armazenada no dossel. Posteriormente, divide a demanda evaporativa remanescente entre vegetação e solo. A demanda evaporativa do solo *default* do SWAT (50% = 10 mm/ 95% = 100 mm). Pode ser alterado com o coeficiente ESCO (Fator de compensação de evaporação do solo). A Tabela 6.5 apresenta a equação de Penman-Monteith. Os demais procedimentos gerais de cálculo são apresentados nas Tabela 6.3 a Tabela 6.16. Embora seja apresentada nas Tabelas 6.9

a *Tabela 6.14* procedimentos de cálculos de produção de sedimentos e qualidade de água, este trabalho aborda apenas a modelagem do balanço hídrico, conforme apresentado no item *Objetivos*.

Tabela 6.3 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Balanço Hídrico e Escoamento Superficial

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação N°.	Descrição
Fase Terrestre	Clima	Dados Requeridos:	-	Precipitação Diária, Temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. O modelo possui um gerador climático que preenche as falhas diárias a partir de dados mensais.
	Hidrologia	Balanço Hídrico	5	$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i)$ <p>SW_t = quantidade final de água no solo; SW₀ = quantidade inicial de água no solo (mm); t = tempo (dias); R_i = precipitação (mm); Q_i = escoamento superficial (mm); ET_i evapotranspiração (mm); P_i = percolação (mm); QR_i = fluxo de retorno (mm).</p>
		Escoamento Superficial	-	Dois Métodos para cálculo de escoamento superficial: Método de Green & Ampt (1911) (necessita de precipitação sub-diária) e <i>Curve Number</i> Modificado (1972), explicado a seguir:
			6	$Q_s = \frac{(R - I_a)^2}{(R - I_a + S)}$ <p>Q_s = escoamento acumulado ou excesso de chuva (mm); R é a precipitação diária (mm), I = abstração inicial (armazenamento superficial + Interceptação + infiltração (mm); S = parâmetro de retenção</p>
			7	$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$ <p>CN = Curve Number diário, função da permeabilidade, uso e histórico de umidade do solo. CN varia não linearmente entre 1 (não-saturado) e 100 (saturado)</p>

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.4 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Escoamento Superficial.

Fase de cálculo	Etapas	Sub-Etapas	Equação N°.	Descrição
Fase Terrestre	Hidrologia	Escoamento Superficial	8	$S = S_{prev} + E_0 \cdot \exp\left(\frac{-cncoef - S_{prev}}{S_{max}}\right) - R_{day} - Q_{surf}$ <p>(S para Solos Rasos) - S_{prev} = Parâmetro de Retenção para o dia anterior (mm), E₀ = Evapotrans-piração Potencial para o dia (mm/d); cncoef é o coeficiente usado para o cálculo de CN diário é f(Evapotranspiração das plantas), S_{max} é o valor máximo que o parâmetro de retenção pode alcançar em um dado dia (mm), R_{day} = precipitação para o dia (mm), Q_{surf} = escoamento superficial (mm). O valor inicial do parâmetro de retenção é definido como S = 0.9S_{max}.</p>
			9	$Q_s = \frac{(R - 0,2S)^2}{(R + 0,8S)}$ <p>Para R>0,2S há escoamento superficial.</p>
			10	$CN_3 = CN_2 \cdot \exp[0.00673 \cdot (100 - CN_2)]$ <p>Condição de Umidade Antecedente 3</p>
			11	$CN_1 = CN_2 - \frac{20 \cdot (100 - CN_2)}{(100 - CN_2 + \exp[2.533 - 0.0636 \cdot (100 - CN_2)])}$ <p>Condição de Umidade Antecedente 1</p>

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.5 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Evapotranspiração, Infiltração e Água no Solo.

Fase de cálculo	Etap	Sub-Etap	Equação N°.	Descrição
Fase Terrestre	Hidrologia	Evapo-Transpiração	12	<p>Método Penman-Monteith</p> $\lambda E = \frac{\Delta \cdot (H_{net} - G) + \rho_{air} \cdot c_p \cdot [e_z^0 - e_z] / r_a}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_c / r_a)}$ <p>Eλ = densidade do fluxo de calor latente (MJ.m-2.d-1); E = taxa de evaporação profunda (mm.d-1); Δ = rampa da curva pressão-temperatura do vapor de saturação, de/dT (kPA °C-1); Hnet é a radiação líquida (MJ.m-2.d-1); G é a densidade de fluxo de calor à superfície (MJ.m-2.d-1); pair = densidade do ar (kg.m-3); cp o calor específico à pressão constante (MJ kg-1°C-1); ezo= pressão de vapor de saturação do ar à altura z (kPa); z = pressão de vapor de água do ar à altura z (kPa), γ é a constante psicrométrica (kPA °C-1), rc é a resistência do dossel vegetativo (s m-1), ra é a resistência de difusão da camada de ar (s m-1).</p>
		Infiltração	13	<p>Se método for SCS, I = RP - Qs Se método do Escoamento Superficial escolhido é Método Green & Ampt, a infiltração é calculada (dados sub-diários).</p>
		Água no solo	14	<p>Água que evapora + água disponível para plantas + escoamento lateral + percolação</p> $AWC = FC - WP$ <p>AWC = capacidade de água disponível; FC = quantidade de água à capacidade de campo (quando o solo totalmente úmido é drenado por aproximadamente dois dias); WP = quantidade de água no ponto de murcha permanente (quando plantas murcham e não se recuperam se suas folhas são mantidas em umidade atmosférica durante a noite)</p>

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.6 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Água no Solo.

Fase de cálculo	Etapas	Sub-Etapas	Equação N°.	Descrição
Fase Terrestre	Hidrologia	Água no solo	15	$WP_{ly} = 0,40 \cdot \frac{m_c \cdot \rho_b}{100}$ <p>WPly = quantidade de água no ponto de murcha (fração do volume total do solo); mc = percentual de argila da camada (%), e ρ_b = massa específica aparente do solo na camada (Mg.m-3).</p>
			16	$w_{perc,ly} = SW_{ly,excess} \cdot \left(1 - \exp \left[\frac{-\Delta t}{TT_{perc}} \right] \right)$ <p>Quando a quantidade de água em determinada camada do solo ultrapassa a capacidade de campo, ocorre a percolação.</p> <p>wperc,ly = quantidade de água que percola para uma camada inferior em um determinado dia (mm); SWly,excess = volume drenável de água no solo em um determinado dia (mm); Δt = extensão do passo de tempo (h), e TTperc é a duração da percolação (h).</p>
			17	$Q_{lat} = 0,024 \cdot \left(\frac{2 \cdot SW_{ly,excess} \cdot K_{sat} \cdot slp}{\phi_d \cdot L_{hill}} \right)$ <p>O escoamento lateral ocorre quando a água que percola verticalmente encontra uma camada impermeável e se acumula, formando uma zona saturada, que é a origem do escoamento. Qlat = descarga de água da rampa de saída (mm.dia-1); SWly,excess = volume drenável da água armazenada na zona saturada da rampa por unidade de área (mm), Ksat é a condutividade hidráulica saturada (mm.h-1); slp é a declividade da rampa (m.m-1); ϕ = porosidade drenável da camada de solo (mm.mm-1); Lhill = comprimento de rampa (m).</p>

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.7 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Água no Solo e Águas Subterrâneas.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação Nº.	Descrição
Fase Terrestre	Hidrologia	Água no solo	18	$TT_{lag} = 10,4 \cdot \frac{L_{hill}}{K_{sat, mx}}$ <p>Tempo de escoamento lateral calculado por <i>default</i>. Pode ser alterado pelo parâmetro LAT_TTIME quando a TC da bacia é maior que 1 dia. T_{Tlag} = tempo de escoamento lateral (dias); L_{hill} = comprimento de rampa (m), $K_{sat, mx}$ = condutividade hidráulica saturada para a camada mais alta do perfil (mm.h⁻¹).</p>
			-	Águas em camadas saturadas, sob pressão maior que a atmosférica. O SWAT modela dois sistemas, denominados aquífero raso e aquífero profundo. O aquífero raso contribui com escoamento para o canal. A água que percola ao aquífero profundo é eliminada do sistema.
		Águas Subterrâneas	19	$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg,sh} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh}$ <p>$aq_{sh,i}$ = quantidade de água armazenada no aquífero raso no dia i (mm); $aq_{sh,i-1}$ = quantidade de água armazenada no aquífero raso no dia i-1 (mm); $w_{rchrg,sh}$ = quantidade de recarga entrando no aquífero raso no dia i (mm); Q_{gw} = escoamento de base ao canal no dia i (mm); w_{revap} = quantidade de água indo para a zona não saturada do solo em resposta às deficiências de água no dia i (mm); $w_{pump,sh}$ = quantidade de água retirada do aquífero raso por bombeamento no dia i (mm).</p>
			-	GW_DELAY = Atraso entre o momento que a água sai do perfil do solo e entra no aquífero raso (<i>Estimado</i>)

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.8 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Água no Solo e Águas Subterrâneas.

Fase de cálculo	Etapas	Sub-Etapas	Equação N°.	Descrição
Fase Terrestre	Hidrologia	Águas Subterrâneas	-	RCHRG_DP Parcela de recarga que pode ser encaminhada ao aquífero profundo, não retornando mais ao sistema. (<i>Estimado</i>).
			20	$Q_{gw,i} = Q_{gw,i-1} \cdot \exp[-\alpha_{gw} \cdot \Delta t] + w_{rchrg,sh} \cdot (1 - \exp[-\alpha_{gw} \cdot \Delta t])$ <p>Equação usada para calcular o escoamento de base $Q_{gw,i}$ quando este alcança o canal, situação em que a água armazenada no aquífero raso excede a um limiar pré-estabelecido, parâmetro $GWQMN$. α_{gw} = constante de recessão do escoamento de base, Δt é o passo de tempo (1 dia); $w_{rchrg,sh}$ = quantidade de recarga entrando no aquífero raso no dia i (mm).</p>
			21	Através do parâmetro $\alpha_{gw} = \frac{2,3}{BFD}$ ou pela equação pela equação: BFD = número de dias de escoamento de base para a bacia.
			22	$w_{revap, mx} = \beta_{rev} \cdot E_0$ <p>A água que alcança o aquífero raso pode ainda retornar à zona não saturada por capilaridade ou através de plantas com raízes profundas, num fenômeno identificado pelo SWAT como <i>revap</i>. $w_{revap, mx}$ = máxima quantidade de água movendo para a zona não saturada em resposta a deficiências de água (mm), β_{rev} é o coeficiente revap (GW_REVAP no SWAT), e E_0 é a evapotranspiração potencial para o dia (mm).</p>

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.9 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Modelo EPIC Simplificado e MUSLE.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação N°.	Descrição
Fase Terrestre	Hidrologia	Águas Subterrâneas	-	REVAPMN Limite definido pelo usuário do modelo de quantidade de água no aquífero raso.
	Cobertura Vegetal/ Crescimento de Plantas	Modelo EPIC Simplificado	-	Função de unidades de calor. (Temperaturas de base, ótima e máxima). A maturidade vegetal será atingida quando a soma das diferenças entre as temperaturas médias diárias e a temperatura de base da planta alcançar o valor de unidade de calor estabelecido.
			23	$\Delta bio = RUE \cdot 0,5 \cdot H_{dia} \cdot (1 - \exp(-k_l \cdot LAI))$ Cálculo de Biomassa Potencial. RUE = eficiência da planta no uso da radiação (0,1g.MJ ⁻¹); H_{dia} = incidência solar total (MJ.m ⁻²); 0,5 H_{dia} = radiação fotossinteticamente ativa incidente (MJ.m ⁻²), k_l = coeficiente de extinção da luz, e LAI = índice de área foliar.
	Erosão	Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE)	24	$S = 11,8 \cdot (Q \cdot q_p \cdot A_{HRU})^{0,56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CFRG$ S = produção de sedimentos em um dado dia (ton); Q = volume de escoamento superficial (mm.ha ⁻¹); q_p = vazão de pico (m ³ .s ⁻¹), AHRU = área da HRU (ha); K = fator de erodibilidade do solo; C = fator de manejo e cobertura do solo; P = fator práticas conservacionistas; LS = fator topográfico; CFRG = fator de partículas grossas do solo.

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.10 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. MUSLE 2.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação N°.	Descrição
Fase Terrestre	Erosão	Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE)	25	$q_{peak} = \frac{\alpha_{tc} \cdot Q_{surf} \cdot Area}{3,6 \cdot t_{conc}}$ <p><i>Método Racional Modificado.</i> q_{peak} = taxa de escoamento de pico ($m^3.s^{-1}$), α_{tc} = parcela da chuva diária que ocorre durante o tempo de concentração, Q_{surf} = escoamento superficial (mm), $Area$ = área da sub-bacia (km^2), e t_{conc} = tempo de concentração da sub-bacia (h).</p>
			26	$t_{conc} = \frac{L_{slp}^{0,6} \cdot n^{0,6}}{18 \cdot slp^{0,3}} + \frac{0,62 \cdot L \cdot n_{ch}^{0,75}}{Area^{0,125} \cdot slp_{ch}^{0,375}}$ <p>Tconc = Tempo da fase terrestre + Tempo fase canal L_{slp} = comprimento de rampa da sub-bacia (m); n = coeficiente de rugosidade de Manning para a sub-bacia, slp = declividade média da sub-bacia ($m.m^{-1}$), L = comprimento do canal do ponto mais distante da sub-bacia até o seu exutório (km); n_{ch} = coeficiente de rugosidade de Manning para o canal, $Area$ = área da sub-bacia (km^2), e slp_{ch} = declividade do canal ($m.m^{-1}$)</p>
			27	$K = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$ <p>K = fator de erodibilidade do solo;</p>

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.11 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. MUSLE 3.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação N°	Descrição
Fase Terrestre	Erosão	Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE)	28	$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3}$ f_{cl-si} = fator erodibilidade/taxa de silte entre finos;
			29	$f_{csand} = \left(0,2 + 0,3 \cdot \exp \left[-0,256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$ f_{csand} = fator erodibilidade/teor de areia;
			30	$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0,25 \cdot orgC}{orgC + \exp[3,72 - 2,95 \cdot orgC]} \right)$ f_{orgc} = erodibilidade/carbono orgânico;
			31	$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0,7 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5,51 + 22,9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right)$ f_{hisand} = fator erodibilidade/quantidades extremamente altas de areia.
			-	m_s = percentual de areia, m_{silt} = percentual de silte; m_c é o percentual de argila, $orgC$ = percentual de carbono orgânico na camada.

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.12 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. MUSLE 4.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação N°	Descrição
Fase Terrestre	Erosão	Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE)	32	$C = \exp[\ln(0,8) - \ln(C_{mn})] \cdot \exp[-0,00115 \cdot rsd_{surf}] + \ln[C_{mn}]$ <p>C = fator de manejo e cobertura do solo; C_{mn} = valor mínimo da fator para determinada cobertura do solo; rsd_{surf} = quantidade de resíduos na superfície do solo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)</p>
			33	$C_{mn} = 1,463 \cdot \ln[C_{aa}] + 0,1034$ <p>C_{aa} = média anual do fator de manejo e cobertura do solo</p>
			-	<p>P = fator práticas conservacionistas = valores tabelados por WISCHMEIER e SMITH (1978)</p>
			34	$LS = \left(\frac{L_{hill}}{22,1} \right)^m \cdot (65,41 \cdot \text{sen}^2(\alpha_{hill}) + 4,56 \cdot \text{sen}\alpha_{hill} + 0,065)$ <p>LS = fator topográfico, L_{hill} é o comprimento de rampa (m), m é o termo exponencial, e α_{hill} é o ângulo da rampa</p>
			35	$m = 0,6 \cdot (1 - \exp[-35,835 \cdot \tan \alpha_{hill}])$
			36	$CFRG = \exp(-0,053 \cdot rock)$ <p>$rock$ = percentual de rochas na primeira camada do solo (%)</p>

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.13 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT, MUSLE e Nutrientes.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação N°	Descrição
Fase Terrestre	Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE)	Sedimentos gerados fluxo lateral sub-superficial e escoamento de base	37	$S_{lat} = \frac{(Q_{lat} + Q_{gw}) \cdot area_{hru} \cdot conc_{sed}}{1000}$ <p>S_{lat} = carga de sedimentos nos escoamentos lateral e de base (ton); Q_{lat} = escoamento lateral para um dado dia (mm), Q_{gw} = escoamento de base para um dado dia (mm); $area_{hru}$ = área da HRU (km²); $conc_{sed}$ = concentração de sedimentos nos escoamentos lateral e de base (mg.L⁻¹). A concentração de sedimentos é controlada pelo parâmetro <i>LAT_SED</i> no SWAT.</p>
		Nitrogênio	-	SWAT monitora cinco formas de Nitrogênio, duas inorgânicas NH ₄ ⁺ ; NO ₃ ⁻ , e três orgânicas (associada associada ao resíduo de plantações e biomassa; e outras duas formas ativa e fresca associada ao húmus do solo. Com essas entradas calcula mineralização, decomposição e imobilização no ciclo de nitrogênio. Os parâmetros de entrada são : <i>SOL_ORGN</i> <i>RSDIN</i> = concentração inicial de NO ₃ na camada de solo (mg/kg ou ppm);
	Nutrientes		-	<i>SOL_ORGN</i> = concentração inicial de nitrogênio orgânico de húmus no solo (mg/kg or ppm); <i>RSDIN</i> = <i>rsd_{surf}</i> : Deposição de Resíduos orgânicos em 1 cm de resíduo de reservatórios (kg.ha ⁻¹) <i>SOL_BD</i> = ρ_b = Peso específico da camada de solo (mg.m ⁻³); <i>SOL_CBN</i> = $orgC_{ly}$: Percentual de carbon organic na camada (%)

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.14 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Nutrientes.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Descrição
Fase Terrestre	Nutrientes	Fósforo	SWAT monitora seis formas diferentes de Fósforo. Três minerais e três orgânicas. Os parâmetros de entrada são: $SOL_SOLP = P_{solution,ly}$: Initial InitialConcentração de Fósforo Solúvel em camada de solo (mg/kg or ppm); $SOL_ORGP = P_{org,hum,ly}$; Concentração de Fósforo Orgânico Húmico em camada de solo (mg/kg or ppm); $PSP = pai$: Disponibilidade de Fósforo $RSDIN = rsd_{surf}$: Deposição de Resíduos orgânicos em 1 cm de resíduo de reservatórios (kg.ha ⁻¹) $SOL_BD = \rho_b$ = Peso específico da camada de solo (mg.m ⁻³)
		Pesticidas	Embora SWAT não simule <i>stress</i> ao crescimento de culturas devido à presença de insetos, arbustos e outras formas de danos biológicos à culturas, pesticidas podem ser aplicados para estudar o movimento de químicos em rios devido ao escoamento superficial. As equações utilizadas são baseadas no modelo GLEAMS.(1987).
	Práticas de Manejo		Práticas de manejo nos HRUs possíveis são: início e fim de plantio, taxa de aplicação e quantidade de fertilizantes, pesticidas e irrigação e programação de revolvimento do solo.

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.15 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Fase de Canal.

Fase de cálculo	Etapa	Sub-Etapa	Equação N°	Descrição
Fase Canal	Propagação do Escoamento	-	-	Dois métodos de propagação do escoamento podem ser utilizados no modelo SWAT: o método de Muskingum, ou método que utiliza um coeficiente de armazenamento variável desenvolvido por WILLIAMS (1969)
	Método de Muskingum	38	$V_{stored} = K \cdot (X \cdot q_{in} + (1 - X) \cdot q_{out})$	V_{stored} = volume de armazenamento (m^3); q_{in} é a taxa de entrada do escoamento ($m^3 \cdot s^{-1}$); q_{out} = taxa de descarga ($m^3 \cdot s^{-1}$), K = constante de armazenamento para o canal (s); X = fator de ponderação (0 e 0,5, comum 0,2 para rios).
		39	$K = \frac{1000 \cdot L_{ch}}{c_k}$	L_{ch} = comprimento do canal (km), ck = celeridade, ($m \cdot s^{-1}$)
		40	$c_k = \frac{5}{3} \cdot \left(\frac{R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{n} \right)$	R_{ch} =raio hidráulico (m), slp_{ch} declividade ($m \cdot m^{-1}$), e n = coeficiente de Manning.
		41	$t_{loss} = K_{ch} \cdot TT \cdot P_{ch} \cdot L_{ch}$	t_{loss} = perdas por transmissão no canal (m^3), K_{ch} = condutividade hidráulica efetiva do canal ($mm \cdot h^{-1}$), TT = tempo de escoamento (h), P_{ch} = perímetro molhado (m), e L_{ch} = comprimento do canal (km).
		42	$E_{ch} = coef_{ev} \cdot E_0 \cdot L_{ch} \cdot W \cdot fr_{\Delta t}$	E_{ch} = evaporação do canal para o dia (m^3), $coef_{ev}$ = coeficiente de evaporação (0 a 1), E_0 = evaporação potencial, L_{ch} = comprimento do canal (km), W = largura do canal ao nível da água (m), $fr_{\Delta t}$ =fração do passo de tempo na qual a água está escoando no canal.

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

Tabela 6.16 – Metodologia de cálculo do modelo SWAT. Fase de Canal.

Fase de cálculo	Etapas	Sub-Etapas	Equação N°	Descrição
Fase Canal	Método de Muskingum	Deposição de Sedimentos	43	$S_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \cdot V_{ch}$ $conc_{sed,ch,mx}$ = concentração máxima de sedimentos que pode ser transportada pela água (ton.m ⁻³). S_{dep} = quantidade de sedimentos depositada (ton); $conc_{sed,ch,i}$ = concentração inicial de sedimentos no canal (ton.m ⁻³);
		Sedimentos devido à degradação	44	$S_{deg} = (conc_{sed,ch,mx} - conc_{sed,ch,i}) \cdot V_{ch} \cdot K_{ch} \cdot C_{ch}$ S_{deg} = quantidade de sedimentos reentrando no canal (ton); V_{ch} = volume de água no canal (m ³). K_{ch} = fator de erodibilidade do canal (cm.h ⁻¹ .Pa). = Parâmetro CH_EROD C_{ch} = fator de cobertura do canal. = Parâmetro CH_COV .
	QUAL2E	Nutrientes	Modelagem do Transporte de nutrientes ao longo da calha do rio; dissolvidos na água dos adsorvidos ao sedimento.	

Fonte: NEITSCH *et al* (2011).

6.3 Dados de Entrada

6.3.1 Dados Hidrológicos e Metereológicos

O SWAT requer dados de precipitação, temperatura do ar máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. As estações pluviométricas, fluviométricas e metereológicas selecionadas são apresentadas e descritas na *Tabela 6.17*. A *Figura 6.2* apresenta a localização das respectivas estações. Os dados Pluviométricos e Fluviométricos foram obtidos junto ao site <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Os dados metereológicos foram obtidos junto à EPAGRI/CIRAM, para as Estações Metereológicas de Florianópolis e São José.

Os dados hidrológicos da ANA são dados diários entre 01/01/2000 e 31/12/2011. Todas as estações pluviométricas da ANA possuem dados consistidos somente em 2000, junho a dezembro de 2004 e 2006. Os demais anos foram preenchidos com dados brutos sem a realização de análise de consistência. A exceção é Florianópolis, que não possui nenhum dado consistido para o período, todos dados utilizados são brutos. Devido a grande quantidade de falhas no período, a estação pluviométrica de Poço Fundo 02748005 foi desconsiderada.

As falhas diárias foram substituídas por -99, requerido pelo software.

Quanto aos dados fornecidos pela EPAGRI/CIRAM para Florianópolis e São José a *Tabela 6.18* apresenta a disponibilidade de dados, as estações e variáveis utilizadas. Destaca-se a reduzida quantidade de dados de intensidade de vento e radiação para ambas estações metereológicas. Os dados de radiação de São José foram desconsiderados por haver apenas 4 medições diárias, sendo que a média diária das quatro medições superestima o valor real diário.

A radiação solar utilizada no modelo é a média para todo o período diário. Os dados de radiação foram convertidos de $W.m^{-2}$ para $MJ.m^{-2}dia^{-1}$.

Os gráficos e médias dos dados hidrológicos e metereológicos são apresentados no item 7.1 – *Caracterização Hidrológica*.

Quanto aos dados fluviométricos, a estação ANA ETA CASAN Montante apresenta dados de jan/2000 a jan/2010, enquanto a estação ANA Poço Fundo apresenta somente 25% de dados entre jan/2000 e dez/2012, e não será utilizada para comparação com dados modelados.

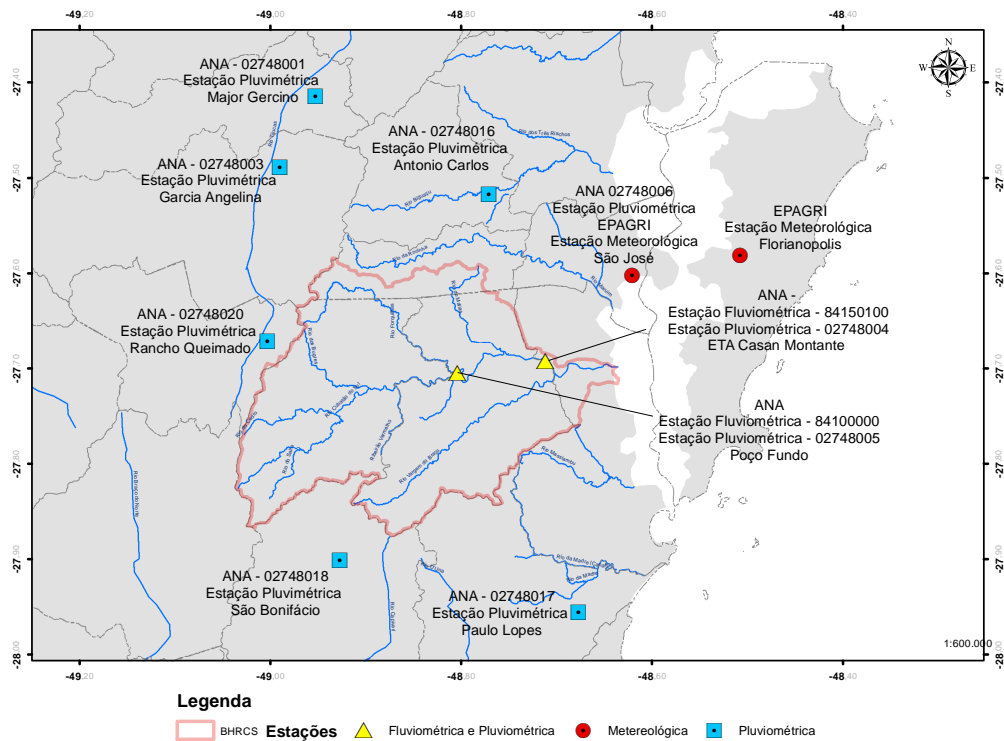


Figura 6.2 – Estações Meteorológicas, Pluviométricas e Fluviométricas.

Tabela 6.17 – Localização das estações inseridas e no entorno da BHRCS.

Código	Nome da Estação	Município	Altitude	Tipo*	Órgão
2748001	Major Gercino	Major Gercino	40	P	ANA
2748003	Angelina	Angelina	215	P	ANA
2748004	ETA Casan Montante	Palhoça	20	P	ANA
2748006	FPolis**	São José	5	P	ANA
2748016	Antônio Carlos	Antônio Carlos	34	P	ANA
2748017	Paulo Lopes	Paulo Lopes	2	P	ANA
2748018	São Bonifácio	São Bonifácio	410	P	ANA
2748020	Rancho Queimado	Rancho Queimado	820	P	ANA
84100000	Poço Fundo	Sto Amaro	5	F	ANA
84150100	ETA Casan Montante	Palhoça	20	F	ANA
EPAGRI	Fpolis**	Fpolis**	5	M	Epagri
EPAGRI	São José	São José	5	M	Epagri

* M=Metereológica, P=Pluviométrica, F=Fluviométrica; **FPolis = Florianópolis

Tabela 6.18 – Dados Metereológicos EPAGRI/CIRAM- Florianópolis.

Tipo de Dado	Disponibilidade	Estação	Unidade	Leitura
Precipitação	01/jan/2000 - 31/ago/2001	125 - Convencional	mm	Pluviômetro 24 h- Leitura às 9:00 h
Precipitação	01/set/2001 - 31/dez/2011	1006 - Automática	mm	Pluviômetro 24 h - 9:01 h às 9:00 h
Radiação	07/mai/2006 16:00 - 07/jul/2010 15:00	1006 - Automática	W/m ²	Radiação Média Horária
Radiação	07/jul/2006 16:00 - 31/dez/2011 23:55	1006 - Automática	W/m ²	Radiação Instantânea a cada 5 minutos

Tabela 6.19 – Dados Metereológicos EPAGRI/CIRAM São José.

São José	Disponibilidade	Estação	Unidade	Leitura
Precipitação	01/jan/2000 - 31/dez/2011	ANA 02748006 (Florianópolis)	mm	Diária
Radiação	02/ago/2005 11:00 - 31/dez/2011 23:00	INMET - 1501 - Automática	W/m ²	Radiação Média Horária
Temperatura Máxima	02/ago/2005 11:00 - 31/dez/2011 23:00	INMET - 1501 - Automática	°C	Temp. do Ar Máx. Média Horária
Temperatura Mínima	02/ago/2005 11:00 - 31/dez/2011 23:00	INMET - 1501 - Automática	°C	Temp. do Ar Mín. Média Horária
Vento	02/ago/2005 - 31/dez/2011	INMET - 1501 - Automática	m.s ⁻¹	Vento Médio a cada 10 min
Umidade	02/ago/2005 11:00 - 31/dez/2011 23:00	INMET - 1501 - Automática	%	Umidade Relativa Instantânea

Juntamente com os dados diários, o *SWAT* requer médias mensais de dados metereológicos, para realizar preenchimento de falhas e utilizar parâmetros mensais em equações como a evapotranspiração de *Penmon-Montheith*, conforme apresentado na

Tabela 6.20. No *SWAT* este item é denominado *Weather Generator*. O cálculo das médias mensais foi realizado com o software *WGNmaker 4.1*.

Tabela 6.20 – Dados metereológicos mensais (*Weather Generator*).

Parâmetro	Descrição
WLATITUDE	Latitude da estação meteorológica (graus)
WLONGITUDE	Longitude da estação meteorológica (graus)
WELEV	Altitude da estação meteorológica (metros)
RAIN_YRS	Número de anos dos dados meteorológicos observados que foram utilizados para calcular o RAIN_HHMAX
TMPMX	Temperatura máxima nos diferentes meses do ano (°C)
TMPMN	Temperatura mínima nos diferentes meses do ano (°C)

Tabela 6.20 – Dados meteorológicos mensais (*Weather Generator*) (continuação).

Parâmetro	Descrição
TMPSTDMX	Desvio padrão da máxima temperatura no mês.
TMPSTDMN	Desvio padrão da mínima temperatura no mês.
PCPMM	Média da precipitação no mês (mm)
PCPSTD	Desvio padrão da precipitação no mês (mm.dia ⁻¹)
PCPSKW	Coefficiente Skew para a precipitação diária no mês
PR_W(1)	Probabilidade de dia úmido (com chuva) seguido de um dia seco no mês
PR_W(2)	Probabilidade de dia úmido seguido de outro dia úmido no mês
PCPD	Número médio de dias chuvosos no mês
RAINHHMX	Precipitação máxima de 30 minutos no mês (mm)
SOLARAV	Radiação solar média diária no mês (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)
DEWPT	Ponto de orvalho médio diário no mês (°C)
WNDVAV	Velocidade do vento médio diário no mês (m.s ⁻¹)

Para dois parâmetros desta tabela, DEWPT (Ponto de Orvalho médio diário no mês) e RAINHHMAX (precipitação máxima no período de 30 minutos no mês) foram necessários métodos alternativos de estimativa, visto que não há medições diretas desses parâmetros.

6.3.1.1 DEWPT - Ponto de Orvalho

Segundo Neitsch *et al* (2011) a temperatura de ponto de orvalho é a temperatura na qual a pressão de vapor na atmosfera é igual a pressão de vapor saturada. O SWAT utiliza o valor médio mensal de DEWPT para calcular as falhas de umidade relativa.

Para estimativa do ponto de orvalho (*dewpt*) médio diário no mês foi utilizado o software DEW02. Este programa calcula o ponto de orvalho através da temperatura máxima, temperatura mínima e umidade diária parâmetros estes normalmente medidos em estações meteorológicas.

O ponto de orvalho é calculado pelas equações 45, 46 e 47, onde e_s é pressão de vapor saturado (mbar); e_a é a pressão de valor real

(mbar); T é temperatura do ar (°C); RF é umidade relativa (%); DEWPT é temperatura de ponto de orvalho (°C).

$$DEWPT = \frac{(234,18 * \log_{10}(e_a) - 184,2)}{(8,204 - \log_{10}(e_s))} \quad (45)$$

$$e_a = RF * \frac{e_s}{100} \quad (46)$$

$$e_s = 0,6108 * e^{(17,27T / T + 273,3)} \quad (47)$$

Para as equações acima, utilizando temperatura máxima e mínima, o programa deriva as equações duas vezes até obter o ponto de encontro.

6.3.1.2 RAINHHMX - Precipitação máxima de 30 minutos no mês.

Como as medições de precipitações em estações metereológicas são diárias, a estimativa da precipitação máxima de 30 minutos diárias deve ser recorrida com a utilização de equações de chuvas intensas, ou métodos que estimem a precipitação máxima diária esperada e desagregação em intervalos menores de tempo. No entanto a determinação da chuva esperada considera todo o período anual, não havendo distinção mensal dos valores esperados.

Neste sentido foi realizado uma estimativa da precipitação máxima de 30 minutos para cada mês, com base em valores diários de jan/2000 a dez/2011 para EPAGRI Florianópolis e de out/2001 a dez/2011 para a EPAGRI São José (ANA 027048006). O procedimento de desagregação da precipitação da chuva máxima esperada de 24hs e fatores de desagregação, podem ser observados por Back (2000), DNAEE-CETESB (1980) *apud* Oliveira (2000) e São Paulo (1999). A precipitação máxima esperada para cada mês é estimada com as equações da distribuição de Gumbel-Chow, onde \bar{x} é Precipitação Máxima Diária no Mês; S é Desvio Padrão da série; Y_n é Valor Médio da Variável Reduzida; Y_n é Desvio Padrão da Variável Reduzida; $P[X \leq x]$ é Probabilidade de um evento X ser menor ou igual a um evento x (Método de Kimbal), sendo m o número da ordem de um elemento e n o tamanho da série histórica. T é o período de retorno igual a 1/P.

$$X = \bar{x} + (Y - Y_n)S/S_n \quad (48)$$

$$Y_i(n) - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i}{n-1} \right) \right] \quad (49)$$

$$Y_n = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i(n)}{n} \quad (50)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Y_i(n) - Y_n]^2}{n}} \quad (51)$$

$$F(X) = P[X \leq x] = \frac{m}{n+1} \quad (52)$$

Após o cálculo da precipitação máxima diária esperada para o mês, a mesma é corrigida pelo Fator 1.13 para Tempo de Retorno de 10 anos, convertida então para Precipitação Máxima de 24 horas (SÃO PAULO, 1999).

Com as precipitações máximas esperadas de 24hs calculadas, a desagregação da chuva diária é estimada pela multiplicação por fatores de desagregação, apresentados na *Tabela 6.21*.

No *Apêndice* são apresentados os cálculos relacionados à este parâmetro. Os valores de RAINHHMX são apresentados nas *Tabela 7.1* e *Tabela 7.2*.

Tabela 6.21 – Tabela de desagregação da Chuva de 24 horas.

Duração	Fator de correção de precipitação (FCP)	Desagregação
12 h	0,85	P12hs = FCP*P24h
10 h	0,82	P10hs = FCP*P24h
8 h	0,78	P8hs = FCP*P24h
6 h	0,72	P6hs = FCP*P24h
1 h	0,42	P1h = FCP*P24 h
30 min	0,74	P30min = FCP*P1h

Fonte: DAEE-CETESB, 1980 *apud* Oliveira *et al*, 2000.

6.3.2 Banco de Dados Espaciais

6.3.2.1 Modelo Numérico do Terreno (MNT)

O modelo numérico do terreno (MNT) foi elaborado através das curvas de níveis das cartas topográficas digitais dos municípios de Anitápolis, Rancho Queimado, São Bonifácio, Paulo Lopes, Santo Amaro da Imperatriz e Florianópolis. Foram encontradas falhas nas junções das cartas dos municípios, sendo as mesmas corrigidas para a interpolação das cotas. O método utilizado foi o de interpolação de rede triangular irregular (TIN – *Triangular Irregular Network*), do *3D analyst tool*, no ArcGIS 10. O TIN gerado foi convertido para Raster, nas propriedades *cell size* 15, *float* e *natural neighbor*.

As cartas topográficas estão disponíveis em meio digital pela EPAGRI na escala é 1: 50.000. A projeção utilizada foi *South American Datum* 1969 UTM Fuso 22 S.

O MNT foi apresentado no item 5.1 – Hidrografia e Relevo.

6.3.2.2 Uso e Ocupação do Solo

O mapa de uso e ocupação do solo utilizado foi o produzido pelo Projeto de Proteção da Mata Atlântica da FATMA (FATMA, 2007). Para o presente estudo foi considerando que o uso ocupação do solo são constante ao longo do período de análise. O mapa possui escala 1:50000. Detalhes foram apresentados na *Tabela 5.1* e *Figura 5.5*.

Associado ao mapa, o banco de dados de uso e ocupação é proveniente do próprio banco de dados do SWAT, onde a relação entre os mesmos é estabelecida pelo Código SWAT, apresentados na *Tabela 6.22*.

Tabela 6.22 – Associação entre Uso e Ocupação do Solo e Banco de dados SWAT.

Classe	Código SWAT	Área	
		Valor (km ²)	%
Agricultura	AGRL	12,27	1,65
Área urbanizada	URBN	12,89	1,74
Corpos d'Água	WATR	0,95	0,13
Florestas	FRST	564,40	76,01

Tabela 6.22 – Associação entre Uso e Ocupação do Solo e Banco de dados SWAT (Continuação).

Classe	Código SWAT	Área	
		Valor (km ²)	%
Mangues	WETL	1,68	0,23
Pastagens e Campos Naturais	PAST	145,74	19,63
Reflorestamentos	PINE	4,12	0,56
Solo Exposto	AGRC	0,47	0,06
Total		742,51	100,00

As subdivisões de usos Área de Mineração e Florestas Inicial e Floresta Estágio Médio e Avançado foram agrupadas à Solo Exposto e Florestas respectivamente. Devido à característica da Floresta subtropical de ser intermediária entre Floresta Tropical (*Evergreen*) e Floresta Temperada Decídua, foi definido a Floresta com características intermediárias (*Mixed Forest*).

O solo exposto é definido como agricultura em estágio inicial.

6.3.2.3 Solos

A distribuição espacial dos solos para a BHRCS foi obtida junto à EPAGRI/CIRAM, cuja fonte original é o levantamento de reconhecimento de solos do estado de Santa Catarina realizado pela EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, na escala 1:250000 (EMBRAPA, 1998) (*Figura 5.6*).

O banco de dados associado ao tipo de solo requerido pelo SWAT é apresentado na *Tabela 6.23*.

Os dados de entrada do modelo são apresentados nas *Tabela A.1* do *Apêndice A*.

Tabela 6.23 – Parâmetros de entrada de solos.

Dados para todo o solo	
SNAM	Nome do Solo
HYDGRP	Grupo Hidrológico A,B,C ou D
NLAYERS	Número de camadas
SOL_ZMX	Profundidade do Solo (m)
ANION_EXCL	Microporosidade (fração)
SOL_CRK	Maximum Crack Volume (fração)

Tabela 6.23 – Parâmetros de entrada de solos (continuação).

Dados para cada Camada	
SOL_Z	Profundidade da superfície do solo ao fim da camada (m)
SOL_DB	Densidade da Camada (g/cm ³)
SOL_AWC	Água Disponível (mm/mm)
SOL_K	Condutividade Hidráulica Saturada (mm/h)
SOL_CBN	Carbono Orgânico %
SOL_CLAY	Argila %
SOL_SILT	Silte %
SOL_SAND	Areia %
SOL_ROCK	Fragmentos de Rocha %
SOL_ALB	Albedo
USLE K	Fator de Erodibilidade de Solo USLE

6.3.2.4 Cálculo do Albedo

O albedo que é definido como a porção da energia solar incidente que é refletida, atua como principal integrante da estimativa do balanço de energia da superfície terrestre. A definição do albedo dos solos é um parâmetro complexo, pois este depende do tipo e da condição de vegetação superficial, densidade do solo, porcentagem de matéria orgânica, tamanho das partículas, solubilidade de sais, entre outros parâmetros. A média terrestre de albedo é de 0,36 +/- 0,06. Albedo de solos entre 0,1 e 0,2 referem-se a solos de cor escura e irregulares, enquanto solos com cores claras e uniformes possuem entre 0,4 e 0,5. (DOBOS, 2003).

Segundo Batchily *et al* (2003) e *NRCS Soils* (2013) o albedo de solo seco pode ser estimado através da equação $Albedo = 0,069 (Cor Value) - 0,114$, onde *cor value* trata-se do valor da cor da Carta de Munsell.

O código da cor da carta de Munsell apresenta 3 propriedades, matiz, valor e croma. Na *Tabela 6.24* o valor do albedo aproximado é calculado conforme equação acima, de acordo com especificações de cor de cada solo apresentados no SBCS.

Tabela 6.24 – Carta de Munsell e Albedo.

Sigla	Cor	Código Munsell no SBCS	Valor	Albedo
CH4	Bruno	5YR5/3, 5YR3/4, 7,5YR4/3	Valores entre 3 e 5.	0,16
CX2	Avermelhado,			
CX26	Bruno			
CX37	Avermelhado			
CX5	Escuro, Bruno			
CX62	Amarelado			
GX6	Cinzenta	N5	5	0,20
PVA1	Vermelho Amarelado	5YR5/6, 5YR5/7, R5Y5/8, 5YR4/6	Valores entre 4 e 5.	0,16
PVA21				
RL11	De Bruno a Preto	Variado	4 a 10	0,33
RL12				

7 RESULTADOS

7.1 Caracterização hidrológica

As *Figura 7.1* *Figura 7.3* apresentam a precipitação acumulada mensal média, máxima e mínima de todas as estações pluviométricas utilizadas no presente trabalho. Como pode ser observado, há uma redução no volume precipitado para os meses de junho e julho. Os meses de maio e agosto, apresentam elementos extremos, sendo que há anos com grande volume de chuvas e anos com reduzido volume de chuvas para estes meses. As maiores médias e máximas precipitações são verificadas entre setembro e fevereiro. Em novembro de 2008, todas as estações com exceção de São Bonifácio acumularam mais de 400 mm no mês, em especial a Estação 02748004 – ETA CASAN Montante com mais de 800 mm no mês.

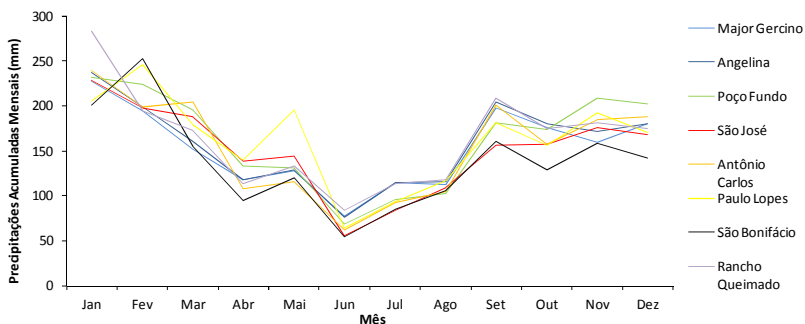


Figura 7.1 – Médias das Precipitações Acumuladas Mensais (2000-2011).

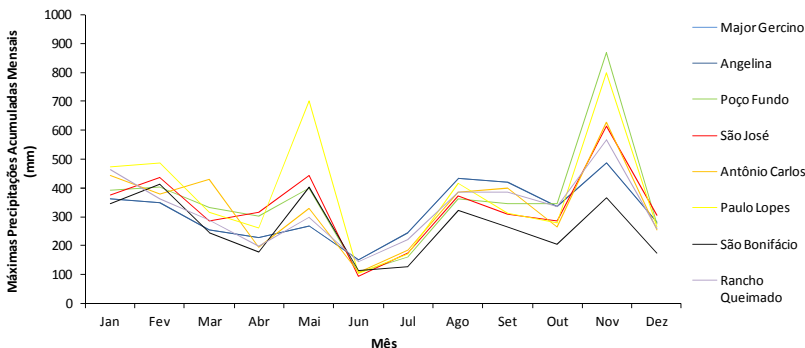


Figura 7.2 – Máximas Precipitações Acumuladas Mensais (2000-2011).

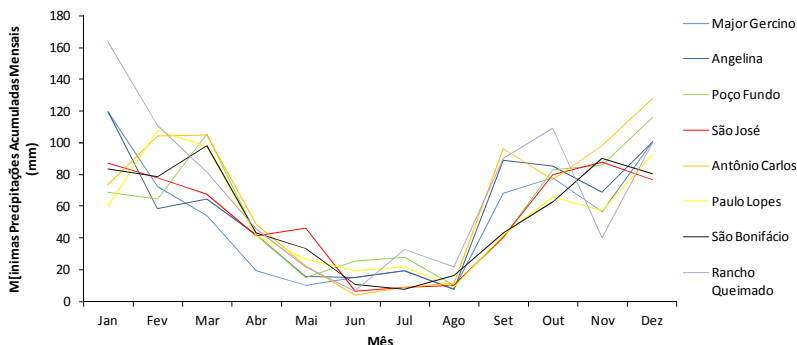


Figura 7.3 – Mínimas Precipitações Acumuladas Mensais (2000-2011).

Conforme apresentado na *Tabela 6.20*, os dados meteorológicos mensais calculados são apresentados nas *Tabela 7.1* e *Tabela 7.2*. Destaca-se que em função das medições de Radiação de São José não serem para todo o período diário, os valores de radiação de Florianópolis foram substituídos aos valores de radiação de São José, ., O mesmo foi realizado para as medições de intensidade de vento de Florianópolis, por representarem apenas 2 anos de medição, foram utilizados as médias mensais de São José para ambos.

As precipitações máximas de 30 minutos para as estações de São José e Florianópolis, assim como as precipitações acumuladas mensais apresentam menores valores para os meses de junho e julho e maiores valores nos demais meses do ano, apresentando correlação entre as estações entre a junho e dezembro. No entanto não houve uma correlação entre os meses de janeiro a maio (*Figura 7.4*).

As temperaturas mínimas mensais apresentam grande similaridade entre as duas estações meteorológica, não havendo o mesmo para as temperaturas máximas. A temperatura de florianópolis é 1°C maior durante todo o ano. A radiação solar média diária apresenta a mesma curva anual que as temperaturas, com valores aproximados entre 8 e 19 MJ.m⁻².dia⁻¹.

A intensidade dos ventos apresentam os menores valores para os meses de abril e junho e os maiores para agosto e setembro.

De maneira geral pode-se afirmar que a precipitação, radiação, temperatura e precipitações máximas apresentam correlação de intensidade na distribuição anual, com intensificação nos meses de verão e redução nos meses de inverno. O mesmo não ocorre com as médias de vento, apresentando grande variabilidade anual.

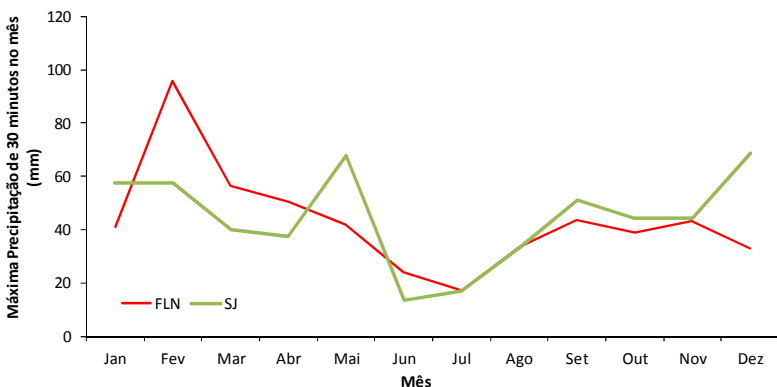


Figura 7.4 – Máxima Precipitação de 30 minutos no mês.

(FLN = Estação Meteorológica EPAGRI Florianópolis, SJ = Estação Meteorológica EPAGRI São José).

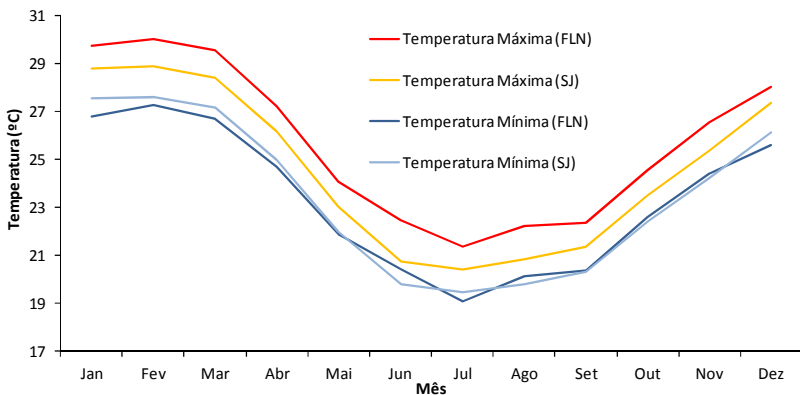


Figura 7.5 – Temperaturas Máximas e Mínimas Diárias Médias.

(FLN = Estação Meteorológica EPAGRI Florianópolis, SJ = Estação Meteorológica EPAGRI São José).

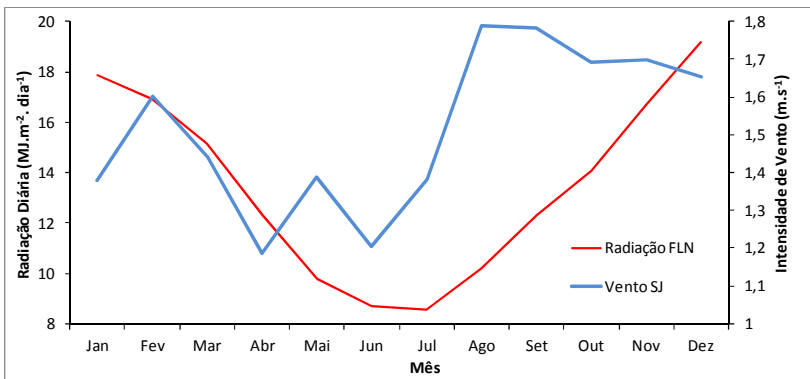


Figura 7.6 – Radiação Solar Média Diária.

EPAGRI Florianópolis (Radiação FLN) e Intensidade de Vento – EPAGRI São José (Vento SJ).

Tabela 7.1 – Dados Metereológicos Mensais - EPAGRI Florianópolis (Weather Generator)

WLATITUDE	-27,58		WLATITUDE		-48,51		WELEV		5	RAIN_YRS		12
Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMAX	29,76	30,04	29,57	27,20	24,08	22,47	21,34	22,25	22,35	24,57	26,55	28,01
TMPMN	26,78	27,25	26,68	24,70	21,87	20,41	19,11	20,14	20,39	22,59	24,40	25,61
TMPSTDMX	2,74	2,86	2,91	2,87	3,04	3,48	3,94	3,71	3,14	2,89	3,29	3,26
TMPSTDMN	3,26	3,72	3,62	3,57	3,86	3,94	5,05	4,29	3,39	2,93	3,54	3,29
PCPMM	180,87	232,89	201,51	146,42	131,33	66,93	80,93	104,32	154,99	154,42	178,88	169,31
PCPSTD	13,84	24,80	17,29	14,59	12,88	6,46	6,59	11,13	11,33	11,09	14,65	12,22
PCPSKW	4,52	6,13	4,45	5,43	5,05	5,14	3,45	4,84	3,97	4,30	5,12	3,98
PR_W1	0,46	0,41	0,37	0,35	0,28	0,26	0,24	0,20	0,28	0,43	0,36	0,38
PR_W2	0,66	0,66	0,64	0,54	0,51	0,52	0,58	0,54	0,67	0,58	0,67	0,58
PCPD	17,83	16,00	15,50	12,42	11,33	10,33	10,83	9,00	14,00	15,58	15,42	14,75
RAINHHMX	40,94	95,71	56,66	50,66	42,01	24,16	17,23	33,26	43,84	39,06	43,10	33,09
SOLARAV	17,85	16,90	15,15	12,29	9,76	8,69	8,57	10,19	12,33	14,09	16,68	19,17
DEWPT	21,06	25,95	25,48	23,11	20,30	19,54	17,90	18,56	18,84	21,07	22,67	23,70
WNAV	1,38	1,60	1,44	1,19	1,39	1,21	1,38	1,79	1,78	1,69	1,70	1,65

Tabela 7.2 – Dados Meteorológicos Mensais - EPAGRI São José (*Weather Generator*)

WLATITUDE	-27,60		WLATITUDE		-48,62		WELEV		5	RAIN_YRS		12
Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMAX	28,79	28,87	28,41	26,19	23,02	20,77	20,44	20,84	21,38	23,51	25,37	27,36
TMPMN	27,53	27,61	27,17	24,98	22,01	19,80	19,46	19,80	20,34	22,39	24,20	26,11
TMPSTDMX	2,21	2,21	2,21	2,45	2,64	2,62	3,27	3,42	2,56	2,55	2,67	2,61
TMPSTDMN	2,09	2,07	2,14	2,27	2,50	2,36	3,11	3,15	2,36	2,24	2,48	2,43
PCPMM	191,01	165,04	156,77	115,17	120,02	46,21	70,17	90,53	142,98	143,85	160,64	154,13
PCPSTD	18,08	17,41	14,85	12,44	17,75	4,86	6,93	10,99	12,43	11,98	12,04	15,39
PCPSKW	4,88	7,15	3,90	4,92	9,95	4,00	3,51	4,72	4,00	4,59	3,61	7,97
PR_W1	0,39	0,40	0,45	0,31	0,21	0,17	0,24	0,18	0,25	0,43	0,31	0,37
PR_W2	0,70	0,70	0,58	0,55	0,57	0,57	0,57	0,56	0,67	0,56	0,66	0,64
PCPD	15,42	13,67	13,33	10,33	8,67	7,33	9,00	7,75	11,58	14,33	13,50	14,92
RAINHHMX	57,34	57,66	40,05	37,30	67,88	13,41	17,10	33,00	51,00	44,48	44,35	68,85
SOLARAV	17,85	16,90	15,15	12,29	9,76	8,69	8,57	10,19	12,33	14,09	16,68	19,17
DEWPT	21,78	21,95	21,67	20,51	19,09	18,14	18,29	17,93	18,10	19,31	20,18	21,06
WNDVAV	1,38	1,60	1,44	1,19	1,39	1,21	1,38	1,79	1,78	1,69	1,70	1,65

7.2 Aplicação do modelo

O modelo gerou com a delimitação automática 33 sub-bacias. Com a definição do exutório da bacia a ser modelada pelo SWAT no km 55,5 do Rio Cubatão do Sul, a área total resultante a ser modelada reduziu de 746 km² para 728 km². O exutório é imediatamente depois do encontro entre os Rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço.

As bacias de número 7, 6 e 12 representam respectivamente os exutórios dos quais encontram-se a Estação Pluviométrica ANA 84100000 Poço Fundo; Estação Pluviométrica ANA 84150100 ETA CASAN Montante e Exutório da delimitação do SWAT para toda BHRCS – Exutório 12. No entanto devido a grande falha nos dados da estação ANA Poço Fundo para o período, somente os exutórios 6 e 12 serão avaliados (*Figura 7.8*).

Foi utilizado a opção *Burn In* do modelo para alterar o MNT conforme a hidrografia produzida pela EPAGRI/CIRAM, forçando a modelo a adotar a rede de drenagem das cartas topográficas da EPAGRI/CIRAM.

Na geração dos HRUs, o mapa de uso do solo cobriu 99,92% da bacia, mapa de solos 100% e as classes de declividades definidas foram os limites 5%, 20% e >20% (*Figura 7.7*). A sensibilidade entre as camadas para a geração dos HRUs foi definidade em 10% para cada relação, utilizando da opção múltiplos HRUs por sub-bacia. O programa gerou 720 diferentes HRUs com a intersecção das três camadas geradas, solos, uso e ocupação e declividade.

Para a rede drenagem foi atribuído número de manning n igual a 0,14 para toda a rede de drenagem. Os demais banco de dados não foram alterados.

7.3 Resultados da modelagem hidrológica

Foram utilizadas dados hidrológicos diários das 9 estações pluviométricas apresentadas na *Figura 6.2* entre 01/01/2000 a 31/12/2012. O balanço hídrico resultante da modelagem diária apresentou uma média pluviométrica de 1872,8 mm anuais. Deste valor, 47,2% são convertidos em evapotranspiração e 50,6% escoamento total, 884,9 mm e 947,47 mm, respectivamente. O escoamento é subdividido em 30,2% de escoamento subsuperficial, 41,2% de escoamento superficial e 28,6% de escoamento de base. O balanço hídrico anual é apresentado na *Figura 7.9*.

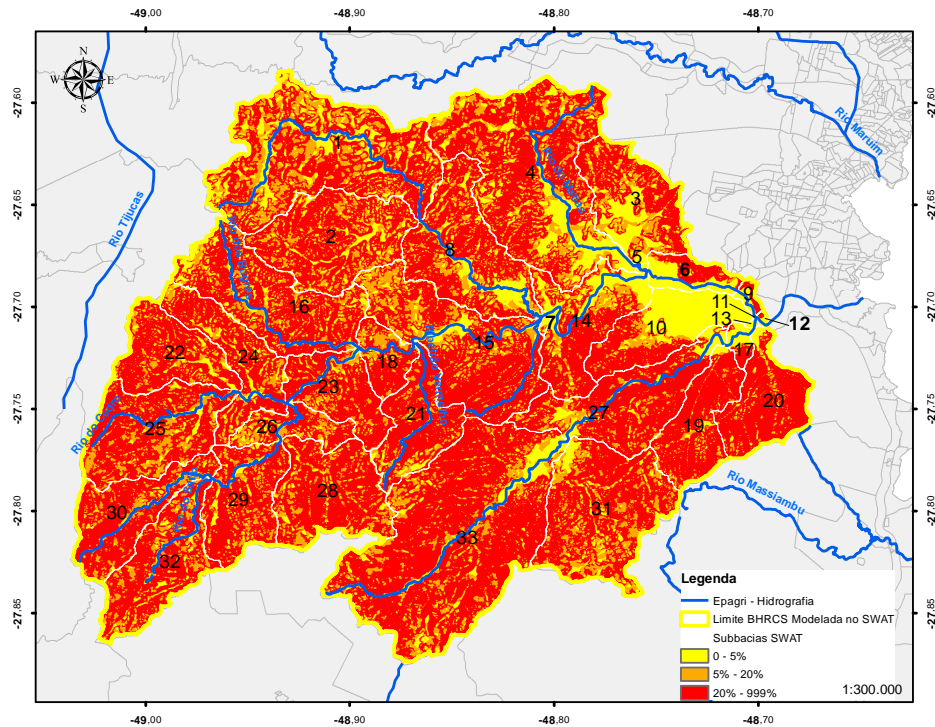


Figura 7.7 – Classes de declividades atribuídas à BHRCS

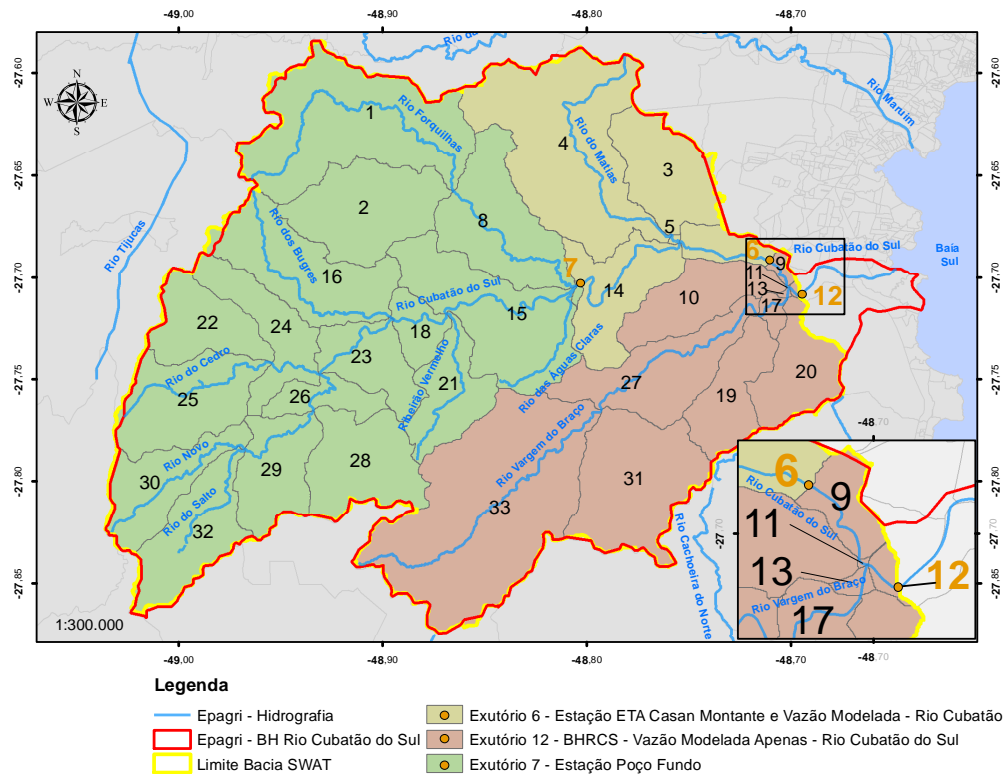


Figura 7.8 – Sub-bacias e exutórios modelados.

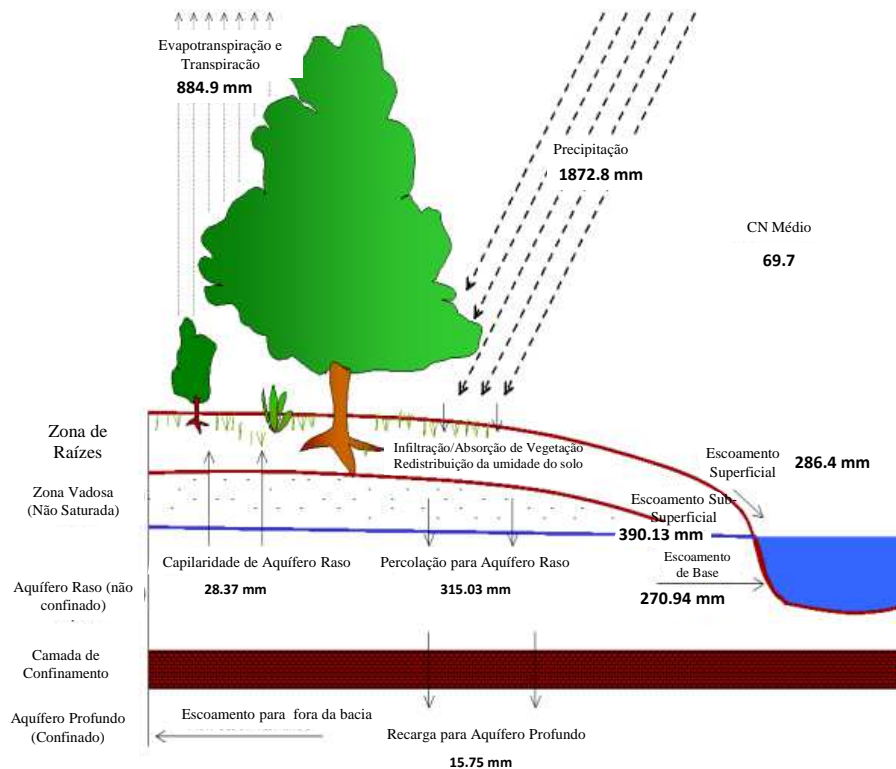


Figura 7.9 – Balanço Hídrico Anual da BHRCS.

Comparando com o balanço hídrico para todo o globo terrestre (TUCCI, 2007), que apresenta 62,7% de evapotranspiração e 37,3% de escoamento total em relação ao total precipitado, os valores modelados são opostos. No entanto quando comparado ao estudo realizado por Kobyama e Chaffe (2008), onde obtiveram 62% de vazão total e 44% de evapotranspiração, os valores simulados também apresentam a tendência em haver maior escoamento total em relação ao volume evapotranspirado.

Em termos de análise dos dados modelados de vazão para o exutório 6 com os dados observados da estação ETA CASAN Montante a Resultados dos métodos estatísticos sobre os dados de vazão modelados não calibrados da sub-bacia 6 e dados observados da Estação ETA CASAN Montante. A *Tabela 7.3* apresenta o resultado da análise estatística para a simulação diária e para as médias mensais e anuais. Comparando os dados por métodos estatísticos, o coeficiente de determinação para dados diários e anuais de 0,49 e 0,56 demonstram a baixa correlação linear entre os dados modelados e observados, o que é minimizado para as médias mensais com R^2 de 0,75.

A mesma interpretação é observada para o coeficiente de eficiência *NSE* onde os dados modelados diários e as médias anuais são próximos à 0,1 o que indica que os dados modelados se aproximam da média dos dados observados. No entanto para as médias mensais modeladas, o resultado é classificado como muito bom, segundo Moriasi *et al* (2007), acima de 0,75.

Quanto ao *PBIAS*, que indica a tendência em uma série de dados ser superestimada ou subestimada, pode-se dizer que os dados diários modelados apresentam excelente relação com os dados observados, o que reforça que este método estatístico deve ser avaliado em conjunto com os demais apresentados. O *PBIAS* anual apresenta uma tendência que graficamente não é verificada (*Figura 7.11*) uma vez que a vazão é superestimada em 75% dos dados, sendo seu valor calculado de -40,8.

Em termos do *RSR*, variância padronizada pelo desvio padrão dos dados observados, o resultado para médias mensais é classificado como muito bom, o que indica que a relação entre os dados observados com os dados modelados, comparada com a diferença entre os dados observados e sua média é em 54% verificada.

Os dados modelados de vazão indicam que o exutório 12, que representa toda a BHRCS modelada pelo SWAT, é em média 36% maior para as médias mensais, 37% para as médias anuais, e 81% para os dados modelados diários.

Tabela 7.3 – Resultados dos métodos estatísticos sobre os dados de vazão modelados não calibrados da sub-bacia 6 e dados observados da Estação ETA CASAN Montante.

CRITERIO MONITORADO:				
Método Estatístico	Modelagem	Médias		Recomendado após calibração como satisfatório por Moriasi <i>et al</i> (2007)
		Diário	Mensal	
R ²	0,49	0,75	0,56	-
NSE	0,16	0,78	0,11	0,50 < NSE ≤ 0,65
PBIAS	-4,90	15,75	-40,80	±15≤PBIAS<±25
RSR	0,91	0,46	0,94	0,60 < RSR ≤ 0,70
(Q ₁₂ /Q ₆)	1,81	1,36	1,37	-

Analisando graficamente, percebe-se que tanto as médias mensais como as médias anuais são superestimados entre 2006 e 2008 comparando-se vazão do exutório 6 modelado e a vazão da Estação ETA CASAN Montante. No ano de 2006 há uma grande quantidade de falhas nos dados observados, e as médias mensais e anuais dos dados observados podem não responder pela realidade dos eventos, o que pode ser observado tanto na *Figura 7.10* e *Figura 7.11*.

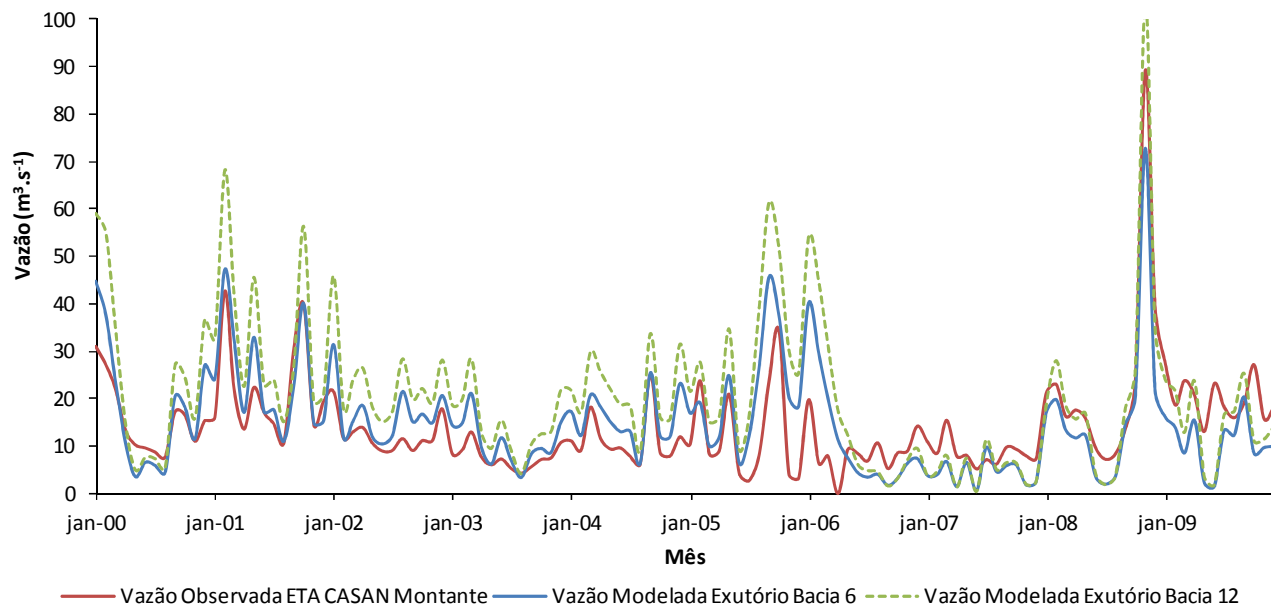


Figura 7.10 – Séries mensais de vazões diárias modeladas e observadas (2000 – 2009).

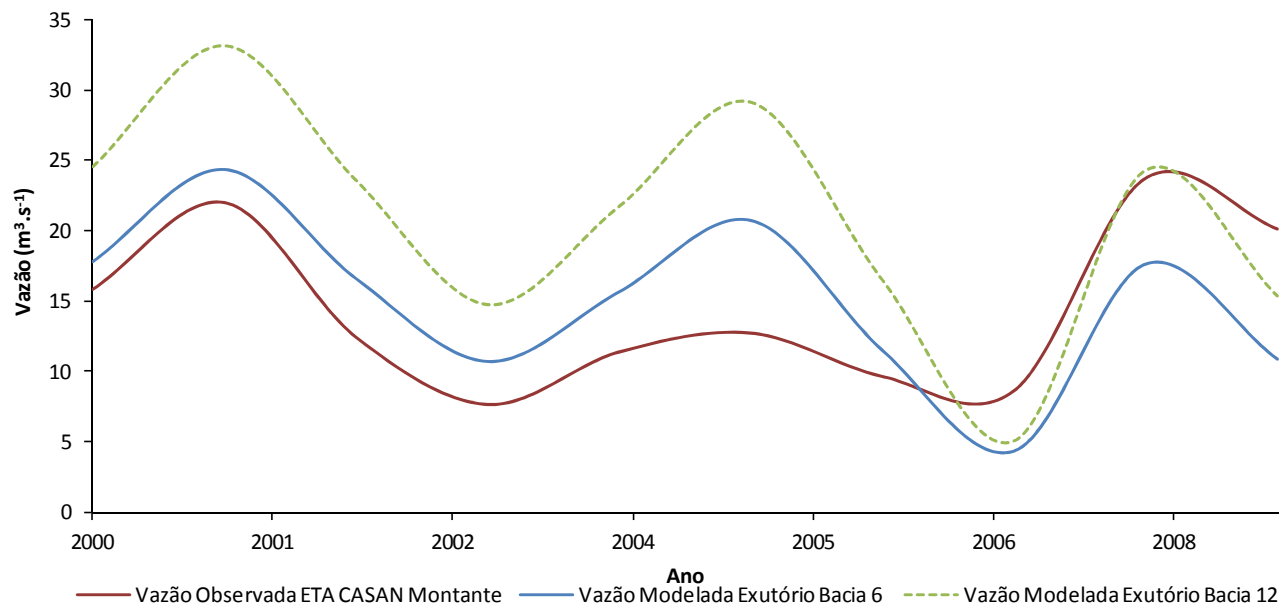


Figura 7.11 – Séries anuais de vazões diárias modeladas e observadas (2000 – 2009).

Em relação à produção hídrica comparado com Santa Catarina (2007), que afirma que a Q_{90} para o Rio Cubatão do Sul é de $11.41 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, a média dos dados observados e modelados apresentam uma tendência similar, visto que Q_{90} exclui os 10% extremos de vazão, a vazão média seria maior.

Os valores médios de vazão modelados não calibrados tendem a apresentar médias similares aos valores médios de vazão observados (Tabela 7.4).

Tabela 7.4 – Vazão modeladas e observadas para média diárias, mensais e anuais.

Médias Diárias			
	ETA CASAN Montante – Vazão Observada	Exutório Sub-bacia 6 – Vazão Modelada.	Exutório Sub-bacia 12 – Vazão Modelada
Vazão Média ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	14,19	15,3	21,17
Desvio Padrão	38,74	32,46	44,46
Médias Mensais			
	ETA CASAN Montante	Sub-bacia 6	Sub-bacia 12
Vazão Média ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	14,47	15,02	20,78
Desvio Padrão	10,51	11,32	16,01
Médias Anuais			
	ETA CASAN Montante	Sub-bacia 6	Sub-bacia 12
Vazão Média ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	14,43	15,02	20,78
Desvio Padrão	5,74	5,76	8,07

8 CONCLUSÕES

Este trabalho que teve por objetivo a estimativa do balanço hídrico para a BHRCS, utilizando dados de entrada entre 01/01/2000 e 31/12/2011, apresenta resultados gerais que carecem de uma análise mais específica quanto à preenchimento de falhas, análise de consistência, calibração e validação. O banco de dados solos foi generalizado quanto às subcategorias de cada classe de solo e o mapa de uso do solo, considera o uso e ocupação constante durante os 11 anos de simulação, sendo os dados físicos baseados no banco de dados do próprio modelo quanto aos parâmetros de uso e ocupação do solo.

Comparado com outros levantamentos acerca das informações da BHRCS, para os valores médios mensais de vazão, os resultados do modelo não calibrado mostram-se satisfatório. Os métodos de avaliação estatística propostos para modelos hidrológicos utilizados na avaliação retornam valores de coeficiente de determinação (R^2) de 0,75, NSE de 0,49, PBIAS de 15,45 e RSR de 0,46.

Uma vez que não há medições de vazão do Rio Cubatão do Sul a partir da junção com o Rio Vargem do Braço, o modelo estimou em média que a vazão da bacia de 728 km² modelada é de 20,78 m³.s⁻¹, a partir da avaliação das médias mensais, 36% a mais em relação à Estação Fluviométrica ETA CASAN Montante. A relação estimada para o balanço hídrico apresenta um total de precipitação anual de 1872,8 mm. Desse valor, 47,2% são evapotranspirados e 50,6% são convertidos em escoamento total. 2,2% são armazenados no solo e recarga de aquífero profundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, A. J. **Relações Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Intensas de Florianópolis, SC.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 5, n.3. jul/set, 2000. n.4. out/dez, 2000. p.126-132.

BATCHILY, A. K. POST, D. F. BRYANT, R B. BRECKENFELD, D.J. **Spectral Reflectance and Soil Morphology Characteristics of Santa Rita Experimental Range Soils.** USDA Forest Service Proceedings Rock Mountain Research Station. Fort Collin. USA. 2003. 175p.

BERNADES, C. SOUSA JÚNIOR, W. C. **Pagamento por serviços ambientais: experiências brasileiras relacionadas à água.** V Encontro Nacional da ANPPAS. Florianópolis. 2010.

BRASIL. MMA. **Cobertura Vegetal do Brasil.** Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso: 03/out/2012.

DAEE-CETESB. **Drenagem urbana: manual de projeto.** DAEE-CETESB. São Paulo/SP. 1980. 466p.

DOBOS, E. **Albedo.** Encyclopedia of Soil Science.. University of Miskolc .Miskolc-Egyetemváros. Hungary. 2003. 3p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.

EMBRAPA – CNPS. **Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado de Santa Catarina.** Boletim de Pesquisa Nº 6 . Rio de Janeiro. 1998.

EPAGRI/CIRAM. **Mapas Digitais de Santa Catarina.** Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>. Acesso em: 25/ago/2012.

EPAGRI/CIRAM. **Estudo ambiental para o ordenamento de parques aquícolas destinados ao cultivo de moluscos bivalves.** Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/portal/Controlador?command=ExibirProjetosResumo&module=website&idProj=632954&tipo=projetos>. Acesso em: 15/set/2012.

EPAGRI/CIRAM. **Sistema de monitoramento hidrológico e modelagem ambiental da bacia hidrográfica do rio Camboriú-SC**

<http://ciram.epagri.sc.gov.br/portal/Controlador?command=ExibirProjetosResumo&module=website&idProj=638875&tipo=projetos>. Acesso: 17/fev/2013.

FATMA, Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Programa de Proteção da Mata Atlântica – PPMA-SC**. Mapeamento de Uso e Ocupação 1:50000. Imagens SPOT 4. Detalhes do Programa em: http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=67&Itemid=146. Acesso: 20/set/2012.

FOSTER, G. R. **Modelling soil erosion and sediment yield**. Soil Erosion research methods. In: LAL. 1988.

FOHRER, N. ECKHARDT, K. HAVERKAMP, S. **Applying the SWAT model as a decision support tool for land use concepts in peripheral regions in Germany**. 10th International Soil Conservation Organization Meeting. West Lafayette. 1999. Disponível em: <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb-old/isco99/pdf/iscodisc/SustainingtheGlobalFarm/P072-Fohrer.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2012.

FRAGOSO, C. R. Jr. MARQUES, D. M. e. FERREIRA, T. F. **Modelagem Ecológica em Ecossistemas Aquáticos**. Oficina de Textos. São Paulo. 2009. 304p.

GARBOSSA, L. H. P. VASCONCELOS, L. R. C. LAPA, K. R. BLAINSKI, E. PINHEIRO, A. **The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil : A review from 1999 until 2010**. International SWAT Conference & Workshops. Toledo, Spain. 2011. 27p.

HORTON, R. **The role of infiltration in the hydrological cycle**. Trans. Am. Geophys, v.14. 1933. p. 446 – 460.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **ESTATCART – Sistema de Recuperação de Informações Georreferenciadas. Censo 2010 – Setores Censitários**. Banco de dados disponível em: geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/censo_2010/setores_censitarios/sc.zip. Acesso: 15/dez/2012.

KOBIYAMA, M. CHAFFE, P. **Water Balance in Cubatao-Sul River Catchment, Santa Catarina, Brazil**. Ambiente e Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science. Universidade de Taubaté. v.3... 2008. p. 5-17.

LEWIS, D. C. BURG, R. H. **Hydrologic Balance from an Experimental Watershed**. Journal of Hydrology - North-Holland Publishing Co. Amsterdam, v. 2. 1964. p. 197-212.

LANDELL- MILLS, N. PORRAS, T. I. **Silver bullet or fools' gold? A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor. Instruments for sustainable private sector forestry series**. International Institute for Environment and Development, Londres. 2002.

LUBITZ, E. **Avaliação da Aplicação do Modelo Hidrológico SWAT à Bacia do Ribeirão Concórdia - Lontras, SC**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau – FURB. 2009. 111p.

MACHADO, R. E. **Simulação de Escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Tese. Programa de Pós Graduação em Agricultura. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2002. 154p.

MARCHIORO, E. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à Aplicação de Práticas de Conservação de Água e Solo no Noroeste Fluminense**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFRJ. Rio de Janeiro. 2008. 189p.

MORIASI, D. N. ARNOLD, J. G. VAN LIEW, M. W. BINGNER, R. L. HARMEL, R. D. VEITH, T. L. **Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. v. 50. 2007. p. 885-900.

MONTEITH, J. L. **In the state and the movement of water in living organisms**. Evaporation and the environment. XIXth Symposium. Soc. For Exp. Biol. Cambridge University Press. Swansea. 1965. p. 205-234.

NEITSCH, S. L. ARNOLD, J. G. KINIRY, J. R. WILLIAMS, J. R. **ArcSWAT Interface for SWAT2009 – User's Guide**. Texas: Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Experiment Station. Texas Water Resources Institute. 2010. 490p. Disponível em: <http://swat.tamu.edu/documentation>. Acesso: 20/abr/2012.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2009. Texas**, Texas: Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Experiment Station. Texas Water Resources Institute. 2011. 618p.

NEITSCH, S. L. ARNOLD, J. G. KINIRY, J. R. WILLIAMS, J. R. **Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation Version 2005**. Texas: Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Experiment Station. 2005. 494p.

NRCS SOILS – Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. **Soil Properties and Qualities – Part 618. Subpart A – General Information**. Disponível em: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/contents/part618.html>. Acesso: 5/jan/2013.

NRCS SOILS – Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. **Hydrology National Engineering Handbook. Chapter 7 – Hydrologic Soil Groups**. May, 2007. 210p. Disponível em: <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17757.wba>. Acesso: 18/jan/2013.

OLIVEIRA, L. F. C. CORTÊS, F. O. A. ROMÃO, P. A. **Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas**. Extraído de “Regionalização de Chuva para Elaboração de Projeto de Drenagem Agrícola para o Estado de Goiás e Distrito Federal”. 2000. 5p.

PEREIRA, A. ZANIN, V. C. **Expedição ao Rio Cubatão**. CASAN – Companhia Catarinense de Água e Saneamento. Relatório 2002. Disponível em: <http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/expedicao-ao-rio-cubatao#0>. Acesso: 17/set/2012.

SAFATLE, A. **O canto e a conta da natureza - Instrumentos de pagamentos por serviços ambientais se disseminam como resposta à escassez de recursos naturais que a sociedade precisa administrar**. Revista 22. Fundação Getúlio Vargas. Setembro, 2006. p.18-24.

SANTA CATARINA. **Lei Estadual Nº 10.949 - 1998 - Dispõe sobre a caracterização do Estado em dez regiões hidrográficas**. Florianópolis:

1998. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/>. Acesso: 23/jun/2012.

SANTA CATARINA. **Panorama dos Recursos Hídricos de Santa Catarina. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável.** Florianópolis: Diretoria de Recursos Hídricos, 2007. 283p. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/>. Acesso: 23/jun/2012.

SANTOS, I. ANDRIOLO, M. V. GIBERTONI, R. C. KOBIYAMA, M. **Use of the SWAT model to evaluate the impact of different land use scenarios on discharge and sediment transport in the Apucarantina River watershed , southern Brazil.** Sediment Dynamics for a Changing Future. Poland: (Proceedings of the ICCE symposium held at Warsaw University of Life Sciences - SGGW). IAHS Publisher. 2010. 337p.

SÃO PAULO. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo.** Prefeitura do município de São Paulo. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. 1999. 289p.

SCHULTZ, G. B. SOUZA, R. M. D. SANTOS, I. DOS. **Simulação da produção e Transporte de Sedimentos na Bacia do Altíssimo Rio Negro com o Modelo SWAT.** IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Brasília, 2010. 9p.

SMITH, D.D. **Interpretation of soil conservation data for Field use.** Agricultural Engineering. v.22. 1941. p.173-175.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Ed da Universidade/UFRGS/EDUPS/ABRH - 4ª Ed. 2007. 943p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** Porto Alegre: Ed da Universidade/UFRGS/ABRH. 1998. 669p.

WILLIAMS, J. R. BERNDT, H. D. **Sediment yield Prediction Based on Watershed Hydrology.** Transaction of the ASAE, v.20, 1977. p.1100-1104.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting energy and its relationship to soil loss.** Trans. Am. Geophys. Unio. v.39. 1968. p.272-291.

WUNDER, S. **The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation.** Conservation Biology. v.21,n1. p.48-58.2007.

WWF – World Watch Foundation. **Shape das Unidades de Conservação Federais e Estaduais Brasileiras.** Disponível em: <http://observatorio.wwf.org.br>. Acesso: 15/jan/2013.

ZINGG, A. W. Analysis of degree and length of slope data as applied to terracing. Agricultural Engineering, v. 21. 1940. p.99-101.

APÊNDICE A – DADOS FÍSICOS DE SOLOS DA BHRCS

Tabela A. 1 – Dados Físicos de Solos da BHRCS.

Dados para todo o solo	Solo	Neossolo Litólico		Cambissolo Háplico				Gleissolo Háplico		
	SNAM	RL		CX				GX		
	HYDGRP	B		C				C		
	NLAYERS	2		4				3		
	SOL_ZMX (m)	1.000		1.500				600		
	ANION_EXCL (fração)	0,36		0,43				0,45		
	SOL_CRK (fração)	*0,5		*0,5				*0,5		
Dados para cada camada	Camada SBCS	A	C	A	B1	B2	Cg	Ag	Cg	Cg2
	SOL_Z (m)	200	1.000	200	890	1.150	1.500	200	390	600
	SOL_DB (g/cm ³)	1,28	1,31	0,98	1,22	1,31	1,19	0,65	1,35	1,16
	SOL_AWC (mm/mm)	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	SOL_K (mm/h)	80	20	8	8	24	16	119	100	200
	SOL_CBN (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	SOL_CLAY (%)	14	24	10	6	5	2	20	8	16
	SOL_SILT (%)	17	16	32	18	12	66	43	19	26
	SOL_SAND (%)	69	60	59	77	83	31	38	73	58
	SOL_ROCK (%)	50	90	0	0	0	0	0	0	0
	SOL_ALB	0,20	0,20	0,16	0,16	0,16	0,16	0,20	0,20	0,20
	USLE_K	0,16	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	0,16

* - Dados do banco de dados do SWAT – usersoil

Tabela A. 1– Dados Físicos de Solos da BHRCS (Continuação).

Dados para todo o solo	Solo	Argissolo Vermelho-Amarelo					Afloramento Rochoso		Água	Solo Urbano
	SNAM	PVA					AF		*Water	*Urban Land
	HYDGRP	B					B		*D	*D
	NLAYERS	5					2		*1	*1
	SOL_ZMX (m)	1500					400		*25,4	*152,4
	ANION_EXCL (fração)	0,49					0,36		*0,5	*0,5
	SOL_CRK (fração)	*0,5					*0,5		*0,5	*0,5
Dados para cada camada	Camada SBCS	A	Bt11	Bt12	B2	B3	A	C	-	-
	SOL_Z (m)	130	430	700	1.050	1.500	200	400	25,4*	*152,4
	SOL_DB (g/cm ³)	1,07	1,27	1,24	1,11	1,15	1,2	1,22	1,72*	*1,5
	SOL_AWC (mm/mm)	0	0	0	0	0	0	0	*0	*0,1
	SOL_K (mm/h)	542	300	130	60	58	80	20	*260	*500
	SOL_CBN (%)	2	2	2	2	2	2	2	*0	*0
	SOL_CLAY (%)	31	42	52	63	62	20	55	*0	*15
	SOL_SILT (%)	17	16	14	14	16	20	25	*0	*30
	SOL_SAND (%)	52	42	34	23	22	60	20	*0	*55
	SOL_ROCK (%)	0	0	0	0	0	*98	*98	*0	*20
	SOL_ALB	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	*0,23	*0,23	*0,23	*0,23
	USLE_K	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	*0	*0,28

* - Dados do banco de dados do SWAT – usersoil

APÊNDICE B – CALCULO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DE 30 MINUTOS

Tabela B. 1 – Precipitação Máxima de 24 h Estimada – Estação Meteorológica EPAGRI São José (2002 – 2011).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	58,40	45,60	64,20	49,80	30,00	11,00	43,80	31,00	28,20	65,40	25,40	38,60
2003	49,90	26,60	36,30	24,00	16,80	24,00	13,20	6,60	33,30	42,60	45,80	68,00
2004	142,00	53,80	68,80	36,50	36,20	43,00	14,20	19,40	39,70	23,60	21,80	104,60
2005	82,40	60,60	69,40	45,20	103,30	21,80	30,00	74,40	59,00	72,80	31,60	18,00
2006	49,60	36,20	20,00	43,60	20,60	10,40	21,80	28,60	11,90	28,70	61,70	29,30
2007	18,90	41,00	74,20	14,10	37,30	3,70	44,80	63,80	32,20	41,90	26,20	41,50
2008	136,90	216,40	74,60	80,40	44,50	16,30	5,50	23,00	56,20	45,80	93,20	203,40
2009	52,40	27,60	77,10	120,80	24,20	12,20	23,40	45,80	85,00	22,20	34,30	34,30
2010	47,90	40,60	78,70	38,50	253,00	18,10	29,20	38,00	57,90	52,00	28,80	16,40
2011	144,40	59,40	113,40	18,40	37,80	22,50	27,20	96,30	97,40	27,20	28,40	68,90
S=Desvio Padrão	45,98	55,95	25,09	31,97	71,91	10,76	12,65	27,74	51,47	45,68	46,82	72,36
Sn= D.P. para 10 anos	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Y =Variável Reduzida n=10	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Yn=Variável Reduzida n=10	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Xm = Média de Máximas	78,28	60,78	67,67	47,13	60,37	18,30	25,31	42,69	50,08	42,22	39,72	62,30
X= P24h Estimada	163,20	164,10	114,00	106,20	193,20	38,19	48,70	93,96	145,20	126,60	126,20	196,00

Tabela B. 2 – Tabela de Desagregação – Precipitação (mm) – Tempo de Retorno 10 anos.(EPAGRI São José 2002 – 2011).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
X=P24 h	163,27	164,19	114,04	106,21	193,28	38,19	48,70	93,96	145,20	126,65	126,27	196,05
P24 h*1,13	184,49	185,53	128,87	120,02	218,41	43,16	55,03	106,17	164,08	143,12	142,68	221,54
12 h	156,82	157,70	109,54	102,02	185,65	36,68	46,77	90,25	139,47	121,65	121,28	188,31
10 h	151,28	152,14	105,67	98,42	179,09	35,39	45,12	87,06	134,55	117,36	117,00	181,66
8 h	143,90	144,72	100,52	93,62	170,36	33,66	42,92	82,82	127,98	111,63	111,29	172,80
6 h	132,83	133,58	92,79	86,42	157,25	31,07	39,62	76,45	118,14	103,04	102,73	159,51
1 h	77,49	77,92	54,12	50,41	91,73	18,13	23,11	44,59	68,91	60,11	59,93	93,05
*30 min	57,34	57,66	40,05	37,30	67,88	13,41	17,10	33,00	51,00	44,48	44,35	68,85

Tabela B. 3 – Precipitação Máxima de 24 h estimada (EPAGRI Florianópolis 2000 – 2011)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000	35,70	250,00	141,80	104,80	58,60	61,20	11,00	8,60	112,80	112,80	39,40	31,00
2001	35,70	250,00	141,80	104,80	58,60	61,20	11,00	8,60	112,80	112,80	39,40	31,00
2002	35,50	81,60	44,10	58,90	25,00	11,00	29,10	34,00	33,70	49,60	29,20	46,50
2003	46,00	70,00	55,00	27,60	99,20	1,30	37,00	38,40	43,00	36,60	28,00	14,20
2004	96,80	18,30	93,60	88,80	41,30	57,50	14,50	19,50	25,90	21,70	25,00	40,60
2005	34,90	33,20	50,90	46,90	115,50	19,80	34,50	90,10	45,60	65,80	31,80	19,30
2006	69,40	132,00	24,70	17,60	24,80	10,20	28,30	25,60	12,10	28,00	84,40	26,60
2007	16,10	15,20	51,40	16,10	44,60	2,50	47,10	57,70	31,80	41,10	34,50	24,40
2008	115,60	212,80	109,90	69,90	43,00	19,00	4,30	16,10	41,60	45,90	160,10	119,10
2009	24,00	59,30	99,00	148,40	20,50	20,70	20,60	50,80	84,00	28,10	38,90	45,00
2010	21,90	30,80	92,70	56,10	104,30	32,20	30,60	35,30	37,20	39,80	40,40	29,40
2011	93,80	50,00	118,30	18,60	50,10	19,30	28,50	92,10	97,70	31,10	30,20	59,10
S=Desvio Padrão	33,32	89,07	39,32	41,90	32,31	21,96	12,59	28,42	35,32	31,08	38,40	27,76
Sn= D.P. para 10 anos	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Y =Variável Reduzida n=10	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
Yn=Variável Reduzida n=10	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Xm = Média de Máximas	52,12	100,27	85,27	63,21	57,12	26,32	24,71	39,73	56,52	51,11	48,44	40,52
X= P24h Estimada	116,56	272,52	161,32	144,24	119,61	68,80	49,05	94,70	124,84	111,21	122,71	94,21

Tabela B. 4 – Tabela de Desagregação – Precipitação (mm) – Tempo de Retorno 10 anos (EPAGRI Florianópolis 2000 – 2011).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
X=P24 h	116,55	272,52	161,32	144,23	119,61	68,79	49,05	94,69	124,83	111,21	122,71	94,20
P24 h*1,13	131,71	307,95	182,29	162,99	135,16	77,74	55,43	107,01	141,06	125,67	138,66	106,45
12 h	111,95	261,76	154,95	138,54	114,89	66,08	47,12	90,96	119,90	106,82	117,86	90,49
10 h	108,00	252,52	149,48	133,65	110,83	63,75	45,45	87,75	115,67	103,05	113,70	87,29
8 h	102,73	240,20	142,19	127,13	105,42	60,64	43,24	83,47	110,03	98,02	108,16	83,03
6 h	94,83	221,72	131,25	117,35	97,31	55,97	39,91	77,05	101,57	90,48	99,84	76,65
1 h	55,32	129,34	76,56	68,46	56,77	32,65	23,28	44,94	59,25	52,78	58,24	44,71
30 min	40,94	95,71	56,66	50,66	42,01	24,16	17,23	33,26	43,84	39,06	43,10	33,09